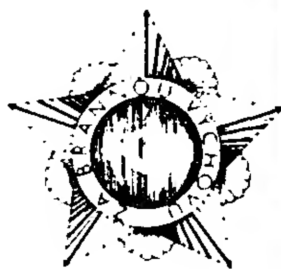
Amatérské RADIO

NOSITEL VYZNAMENÁNÍ ZA BRANNOU VÝCHOVU I. A II. STUPNĚ



ŘADA B PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS PRO ELEKTRONIKU A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ

ROČNÍK XXXIII/1984 ČÍSLO 6

V TOMTO SEŠITĚ

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství NAŠE VOJSKO, Vladislavova 26, 133 66 Praha 1, tel. 26 06 51–7. Šéfredaktor ing. Jan Klabal, redaktor Luboš Kalousek, OK1FAC. Redakční radu řídí Ing. J. T. Hyan.
Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51–7, šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka 355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, ústřední expedice a dovoz tisku, závod 01, Kafkova 9, 160 00 Praha 6. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 160 05 Praha 6, Vlastina ulice č. 889/23.
Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy pouze po 14. hodině. Číslo indexu 46 044.
Toto číslo má vyjít podle plánu 27. 11. 1984.

ELEKTRONIKA A NÁRODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Rozvoj elektroniky a mikroelektroniky otevírá cestu postupu automatizace a robotizace, cestu nahrazování klasických technologií novými nekonvenčními. Jak bylo uvedeno ve zprávě na 10. zasedání ÚV KSČ, mikroelektroniku nelze chápat jako jeden z řady oborů, nýbrž jako prostředek národního hospodářství. Mikroelektronické prvky, funkční obvody, paměti, podpůrné obvody, moderní konstrukční prvky spolu s modulárními mikroprocesorovými systémy a dalšími zařízeními stále výrazněji ovlivňují většinu oborů průmyslové a zemědělské výroby, dopravy, služeb, zdravotnictví i administrativy. V průběhu této a příští pětiletky je počítáno s jejich nasazením ve stovkách a tisících různých aplikací. Uvádí se do života komplexní záměr postupného zavádění mikroelektroniky do národního hospodářství a kvalifikovaný systém zabezpečení technických služeb, včetně školení potřebného počtu odborníků ve všech odvětvích.

Problém využití elektroniky se tak stává stále složitějším procesem, který má nejen technické a ekonomické, ale i sociálně psychologické a sociologické aspekty. Při jejím zavádění musí však to hlavní dokázat lidé, zejména lidé tvůrčí, technicky zaměření, nejlepším využitím svých schopností, vědomostí a zkušeností, svou obětavostí a neúnavně tvořivým přístupem k řešení všech problémů při realizaci úkolů. Životní úroveň národa v dnešní technizované době závisí z velké části na tom, jak dovede vyvolat a podpořit tvořivou práci. V technických profesích je to konstruktérská činnost. Krása konstruktérského povolání spočívá v tom, že propůjčuje novým myšlenkám konkrétní podobu. Skutečný konstruktér musí o své práci neustále přemýšlet, jeho práce nekončí s koncem pracovní doby v zaměstnání.

Není žádným tajemstvím, že vývoj, konstrukce a předvýrobní připravenost u většiny našich výrobků jsou značně zdlouhavé, vyžadují neúměrné množství času. Jednou z příčin je i stále opomíjená hmotná zainteresovanost (již Lenin upozorňoval na její důležitost). Mnozí technici, aby si vylepšili svoji finanční situaci se proto věnují různým způsobům melouchaření, což zabírá čas a většinou omezuje tvůrčí rozlet. Výzvy k bojovému nadšení, k obětavosti a hrdinství bez hmotné zainteresovanosti na výsledcích svého pracovního a tvůrčího nadšení pak nedojdou patřičného sluchu mnohdy ani u mladší generace, i když ani zde nelze paušalizovat, neboť je tu řada velmi dobrých příkladů, které veřejnosti přibližují pravidelně pořádané výstavy vítězných konstrukčních řešení – ZENIT.

Je také všeobecně známo, že konstruktéři, a to nejen elektroničtí ale i automobiloví, letečtí, modeláři, rozvíjejí svůj um ve svazarmovských technicky zaměřených odbornostech. Mnohdy se pak i podaří prosadit myšlenky a nápady vzniklé na půdě organizací Svazarmu do výroby. Je nanejvýš aktuální, že právě rezoluce VII. sjezdu Svazarmu dává rozvoji technických odborností ve Svazarmu a zejména elektronice plnou zelenou. Také svazarmovské, technicky zaměřené časopisy jako Svět motorů, Letectví a kosmonautika, Modelář a zejména oba naše radioamatérské – elektronické časopisy hrají v této oblasti nezastupitelnou úlohu, stejně jako výstavy svazarmovských prací, které umožňují šířit mnohdy velmi dobré nápady či konstrukční řešení těchto technicky zaměřených nadšenců. Je potěšující, že takových lidí není málo; jejich práce by přitom zasluhovala většího uznání i ocenění.

Avšak ne každý konstruktér má schopnost usilovným a soustavným studiem, časově velmi náročným, přiblížit své konstruktérské výsledky světové špičce. Ti, kteří to za nemalého odříkání dokáží, by neměli být hodnoceni rovnostářským způsobem, ale měli by i podle osobních odměn patřičně pocítit, že jsou tvůrci výrobku mimořádných kvalit. A měli by mít také možnost volného přístupu k nejnovějším poznatkům světového vývoje v tomto oboru. Má-li totiž konstruktér omezený přístup k informacím, může-li využívat pouze klasických metod práce, pak ani jeho výtvor nemůže patřit k nejmodernějším. Chce-li vývojář – konstruktér při své práci používat moderní výpočetní techniku, může ji získat jedině v Tuzexu či soukromým dovozem za uspořené valuty z ciziny. Přitom takto získané kalkulátory a počítače určitě nepoužívá v domácnosti, ale na pracovišti pro zkvalitnění a zrychlení své práce v zaměstnání. A protože ne každý kdo nemá legální přístup k tuzexovým poukázkám je ochoten se vystavovat nebezpečí trestního postihu, jsme s modernizací a zejména elektronizací průmyslu tam kde jsme a bude ještě nějaký čas trvat, než se lidé naučí tuto techniku, která zatím stále ještě není levně dostupná, soustavně a cílevědomě používat a využívat.

Pro ilustraci malý příklad výpočetní techniky: Klasický, komplexně zpracovaný návrh malého elektronického obvodu s desítkami součástek trvá vyspělému návrháři asi 200 hodin. Počítač takový obvod navrhne deset až stokrát rychleji. Ale už obvod s tisícem součástek bude vyžadovat nejméně 2000 hodin usilovné práce velmi vyspělého návrháře, zatímco např. v k. p. TESLA Rožnov používaný počítač provede komplexní návrh takového obvodu za několik desítek hodin. A což teprve moderní obvody VLSI s desítkami tisíc součástek, u těch by lidský mozek byl naprosto bezradným, návrh by trval týmu konstruktérů mnoho let. Počítač to dokáže za několik stovek hodin. K návrhu integrovaných obvodů se začalo samočinných počítačů ve světě používat v druhé polovině šedesátých let, u nás se tato metoda použila až o deset let později.

Je stále ještě nemálo konstrukčních pracovišť, kde jen s nechutí opouštějí zaběhané rutinní metody konstrukční práce. Zde je zejména na mladší generaci, aby se nebála prosazovat nové metody do konstrukční praxe, více využívala elektroniku a její aplikace v konstrukčních řešeních, využitím moderních zařízení zefektivnila a zrychlila rutinní práce, působila nejen na zavádění, ale sama se v plné míře naučila komplexně využívat výpočetní techniky. Vždyť právě využití nejmodernější techniky může a mělo by co nejdříve odstranit úmornou rutinní činnost jako je opakované kreslení výkresů, vypracování postupových listů a další, které příliš zaměstnávají konstrukční pracovníky a omezují tak dobu, kterou mohou věnovat tvůrčí práci. Dnes by již nemělo být problémem, aby většina potřebných informací byla uložena v databance a snadno, jen stisknutím příslušných tlačítek, byla dosažitelná výpisem na terminálu přímo ve výrobě.

Velmi důležitou a ne vždy lidmi plně doceněnou je socialistická soutěž, zejména soutěž mezi kolektivy. Soutěživostí konstrukčních týmů lze dosáhnout nejen zkrácení, ale i zkvalitnění vývoje a konstrukce. Hlavním motivem zde ovšem musí být celospolečenský zájem o vytvoření kvalitního výrobku. Zde je ovšem třeba, aby vítězný kolektiv byl patřičně ohodnocen. Diplom či čestné uznání sice potěší, ale ke zvýšení aktivity příliš nepobídne. Je sice pravdou, že opravdový konstruktér, stejně jako vývojový pracovník či výzkumník se nesmí bát uvážlivě riskovat a pouštět se do řešení problémů s nadšením a rozvahou, ale není-li jeho práce dostatečně oceňována, pak i když je zaměstnání koníčkem nepřináší plný pocit uspokojení.

Konstruktérem nemusí být člověk jen svým popisem práce, konstruktérem se stává každý tvořivý vývojový pracovník; každý zlepšovatel a vynálezce, z jehož mozku a rukou vychází něco nového, z hlediska společnosti přínosného, konkrétního.

Ing. Jan Klabal

MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A MĚŘENÍ

Ing. Jiří Horský, CSc., ing. Petr Zeman, ing. Ladislav Škapa

Měřit vše, co je měřitelné, a co není měřitelné měřitelným učinit.

Galileo Galilei

Vážení čtenáři,

předkládáme Vám další číslo Amatérského radia pro konstruktéry, zabývající se elektronickým měřením a měřicími přístroji. Bez měření není vědění, je známé rčení a nám nezbývá, než s ním v plné míře souhlasit. Měření je hranicí mezi neodborným amatérem – „bastlířem" – a amatérem-elektronikem se spoustou znalostí a dovedností, který je velmi často význačným činitelem v elektronizaci a rozvoji národního hospodářství a šiřitelem technického pokroku. Elektronické měření je obor natolik zajímavý, že mnozí často propadají jeho kouzlu a staví si různé měřicí přístroje, nejen jako pomůcku v technické práci, ale i jen pro radost z technické tvorby a ze zvládnutí zvoleného problému. Stavba měřicích přístrojů může být hodnotnou zálibou – koníčkem.

O elektronickém měření bylo již velmi mnoho napsáno a nenajdete prakticky číslo odborného časopisu, v němž by se měřením nezabýval alespoň jeden příspěvek.

Nechceme v tomto čísle AR-B popisovat žádné převratné nové přístroje. Chtěli bychom popsat a vysvětlit postup ekonomického budování měřicího pracoviště pro mladé, začínající amatéry – elektroniky, a doplnit ho informacemi pro pokročilejší – o metrologii, typových zkouškách a bezpečnostních předpisech pro elektronické měřicí přístroje. Pro začátečníky a mírně pokročilé je určena modulová řada stavebnicových přístrojů. Vyspělejším a starším předkládáme samostatné přístroje. Text je doplněn informacemi o školních přístrojích k. p. TESLA Brno. Modulová řada i samostatné přístroje jsou navrženy tak, aby umožňovaly libovolně rozšiřovat měřicí pracoviště podle potřeb.

Text je rozdělen do pěti kapitol, a má tři hlavní části:

1. Přístroje pro začínající amatéry – elektroniky,
2. Přístroje pro vyspělejší amatéry – elektroniky,
3. Přístroje k. p. TESLA Brno pro spotřební trh.

Předpokládanému účelu a úrovni jednotlivých skupin je přizpůsoben i doprovodný text.

V první kapitole se zabýváme polytechnickou výchovou, elektronickými stavebnicemi a návody na stavbu modulů k měřením, bez nichž se neobejde mladý nebo začínající amatér – elektronik.

Druhá až čtvrtá kapitola podává odpovědi na otázky dosud opomíjené v souvislosti se stavbou měřicích přístrojů, tj. bezpečnostní otázky, otázky kolem typových zkoušek a metrologického zabezpečení. Najdete zde návody ke zhotovení univerzálního napájecího zdroje, rezonančního měřiče indukčností a kapacit a panelového číslicového voltmetru s integrovaným obvodem C520D z NDR.

V páté kapitole jsou popsány přístroje, které připravil výrobce elektronických měřicích přístrojů, k. p. TESLA Brno, pro polytechnickou výchovu ve školách, v zájmových útvarech i pro nejširší veřejnost.

1. Přístroje pro začínající

1.1 Polytechnická výchova

Je známo, že inteligence dětí se nejvíce rozvíjí v raném dětství, literatura uvádí, že 40 % je získáváno do 4 let, 35 % do 9 let a zbývajících 25 % do věku 16 let. S elektronikou nemůžeme aktivně začínat u nejmenších dětí, ty musí začínat s polytechnickou výchovou, musí se u nich nejprve vytvořit aktivní vztah k technice. Polytechnickou výchovu je třeba začít mechanickými stavebnicemi. Těch existuje obrovské množství, od prostých dřevěných kostek až po kostky s výstupky na všech plochách (jako na kartáči), které dokáží spojit i nejmenší děti od 18 měsíců věku (např. Milton-Bradley system Nopper). Velmi populární a propracované jsou stavebnice firmy „Lego" z Dánska, které umožňují vytvářet modely od nejjednodušších staveb až po složité stroje a stavební celky. U nás jsou rozšířeny podobné stavebnice z NDR a Jugoslávie. Mnozí z nás starších dodnes vzpomínají s vděčností na kovové stavebnice „Merkur".

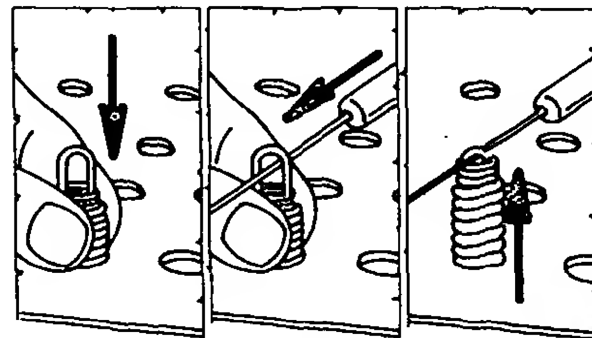
1.2 Univerzální elektronické stavebnice

Elektrotechnické a elektronické stavebnice zaujmou děti nejdříve ve věku 8 až 10 let. Jde o různé univerzální stavebnice typu her, z počátku bez nároků na pochopení principu. V dobré stavebnici musí převládat složka hry a dítě nesmí příliš pozorovat, že je poučováno. V první řadě jde o to, podchytit zájem dítěte. Pro první seznámení s elektronikou jsou nejvýhodnější univerzální stavebnice bez pájení, které umožní vytvořit řadu pro dítě poutavých pokusů, doprovázených vhodnými zvukovými nebo světelnými efekty (např. multivibrátor napájený baterií ze dvou plíšků z různých kovů oddělených papírem, pokapaným citrónem apod.). Součástky nejjednodušších stavebnic jsou propojovány vodiči, zastrčenými do šroubovicovité pružiny upevněné v nosné desce. Takové stavebnice najdeme po celém světě. V SSSR je takto konstruováno několik větších univerzálních stavebnic, u nás např. Logitronik 01 Jesanu Jeseník, podobné provedení lze najít i u tak známého výrobce, jako je Heathkit z USA. Kvalita kontaktního systému je rozhodující a nedokonalé spojení, které někdy neumí odhalit ani otec dítěte, může dítě odradit a vést až k zápornému vztahu nejen k elektronice, ale k technice vůbec.

Z uvedeného důvodu se nám příliš neosvědčily stavebnice Pikotron (obr. 1, 2), u nichž zejména při častějším používání v zájmových kroužcích není spojení modulů dostatečně spolehlivé. Ani s upraveným kontaktním systémem, který používá např. Philips v pokusných soupravách série EE 2000, se nepracuje nejlépe. Zastrčíme-li do očka na obr. 3 několik vodičů, kontakt není spolehlivý a součástky vypadávají. Všimněme si však pro zajímavost, jak tento tradiční výrobce s velkými zkušenostmi i v pedagogické praxi vytváří ze základních prvků – kontaktní pružina a nosná deska s děrami –

Obr. 1. Stavebnice Pikotron z NDR známe i z našich obchodů (obrázek je na 2. straně obálky)

Obr. 2. Pohled do stavebnice Pikotron ukazuje jednotlivé moduly se součástkami i to, jak se častějším užíváním stírá jejich označení (obrázek je na druhé straně obálky)



Obr. 3. Firma Philips používá k propojování tvarované očko, prostrčené dírou v základní desce, na které je nasunuta pružina soudečkovitého tvaru

řadu stavebnic, umožňující podchytit zájem v různém věku a rozšířit znalosti zájemce nabídkou dalších variant. Řada stavebnic Elektronik série 2000 začíná stavebnicí Elektronika „první kontakt" pro věk od 7 let, „druhý kontakt" od 10 let, tři experimentální soupravy od 11 let, čtyři soupravy jsou určeny pro děti od 12 let, jedna od 15 let a další od 16 let. Se „specializací" se začíná od 13 let řadou stavebnic – Integrovaná technika – Měřicí technika – Digitální technika – Ultrazvuková technika a Optoelektronika. Velmi dobře se pracuje se stavebnicemi Polytronic z NDR, na obr. 4 je sestava této stavebnice a na obr. 5 příklad „pokusu" –

Obr. 4. Stavebnice Polytronic, prodávaná v NDR, obsahuje mnoho zajímavých součástí, např. relé, fotoodpor, motorek s kotoučem s výřezy, termistor s topným vinutím apod. Obrázek je na 2. straně obálky

Obr. 5. Součásti stavebnice Polytronic se propojují dostatečně snadno, rychle a názorně. Obrázek je na druhé straně obálky

propojení žárovky se spínačem a zapojení krystalky. Výhodou stavebnice Polytronic je snadné spojování součástí a velké množství pokusů. Použitý systém nasouvání pružinky z boku na sloupek z trubičkovitého nýtku je vhodný jak pro individuální použití, tak i pro zájmové kroužky.

Velmi spolehlivé propojení umožňuje systém Kosmotronik. Používá základní modul s řadou kovových kontaktů, obr. 6, 7. Do děr v kovových kontaktech se zasunují běžné součástky, obr. 8, ale

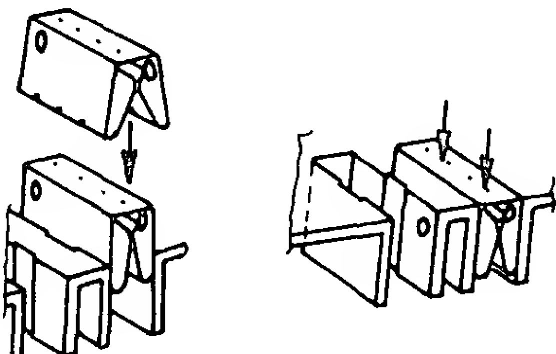
Obr. 6. Základní modul stavebnice Kosmotronik má tvar kvádru. Zasunutím kolíčku tvaru X se dají spojovat kvádry vedle sebe. K zapojení se používají běžné součástky nebo moduly na deskách s plošnými spoji s drátovými vývody. Všimněte si jednoduchého provedení tlačítka vpředu vlevo. Obrázek je na třetí straně obálky

Obr. 7. Pohled na modul stavebnic Kosmotronik zespodu. Kovový spojovací prvek má na horní straně 4 díry a na spodní straně je natvarován do osmi pružných segmentů, které umožní velmi spolehlivé spojení. Obrázek je na třetí straně obálky

Obr. 8. Stavebnice Kosmotronik používají běžné, neupravované součástky. Vzadu je vidět samostatný propojovací segment, vyjmutý ze základního kvádru

i moduly na deskách s plošnými spoji (např. nf zesilovače), opatřené na spodní straně drátovými vývodními kolíčky. Takový systém umožňuje vytvořit řadu stavebnic, od jednoduchých pro děti osmi až devítileté, až po složité (přijímače a zesilovače). Provedení propojovacího kontaktu je na obr. 9.

Za zmínku stojí, jak je podchycován



Obr. 9. Provedení kontaktní pružiny Kosmotronik a zapojení drátového vývodu do tohoto kontaktu

a rozvíjen zájem dítěte i rozšiřováno obchodní využití vyráběných prvků stavebnice Kosmotronik.

První podchytitelný zájem je předpokládán nejdříve od 8 let. První dvě stavebnice – Hry s rádiem a Hry s elektronikou – používají k znázornění zapojení papírové šablony a uvádějí nejjednodušší pokusy – stavbu krystalky, zesilovače, blikače, hlídače apod. Dětem od 10 let je určen Elektronik Junior, obr. 10. Stavebnice má dva tranzistory, sluchátko a běžné součástky. Pokusy zůstávají plně hrou, zahrnují stavbu generátorů, hlídače, blikače, přijímač aj.

Pro dvanáctileté je nabízena sada Elektronik 100 a 101. Přibývá svítivá dioda LED, modul integrovaného zesilovače na desce s plošnými spoji, reproduktor. Složitější zapojení se propojují na několika plástových kvádrech s kontakty, obr. 6 a 7, spojených dohromady.

Od 14 let se rozšiřuje počet součástek o operační zesilovač v soupravě – „laboratoř" s doplňky, digitální technika, technika Hi-Fi.

Od jedné soupravy lze přijít k další, náročnější také díky doplňkům k jednodušším stavebnicím. Za povšimnutí stojí u řad stavebnic Kosmos i Philips to, jak je zdůrazněn nenásilný, hravý přístup k elektronice a odsunuto seznámení s číslicovou technikou až do starší věkové kategorie. Číslicovou technikou zde ovšem myslíme obvodovou, technickou stránku výpočetní techniky. (Praktické zkušenosti nás přesvědčují o tom, že zájem o výpočetní techniku pokud jde o programování je možno podchycovat od okamžiku, kdy jsou děti schopné hrát s počítačem interaktivní hry.)

Pro výuku ve školách a zájmových kroužcích jsou vhodné stavebnice, které umožňují jednotlivé pokusy často opakovat, a které názorně ukazují i schéma zapojení realizovaného pokusu. Jedním z nich je systém Scolatron firmy Phywe. Na obr. 11 je sestava stavebnice pro výuku fyziky, na obr. 12 jsou jednotlivé prvky stavebnice. Obr. 13 ukazuje provedení dvou prvků zespodu. Na obr. 14 je zobrazen pokus – výklad funkce astabilního multivibrátoru. Taková stavebnice je sice velmi praktická, ale výrobně náročná a drahá. Že je možné udělat náročné, ale i úpravné stavebnice i amatérskými prostředky, ukazuje obr. 15. Na podobném principu, jako stavebnice Scolatron, je založen výrobek družstva Pokrok Žilina, Elektronik 01.

Obr. 10. Stavebnice Elektronik Junior je na obalu opatřena základními informacemi a umožňuje zapojovat pokusy přímo v krabici, bez „roztahování" po stole a tím i snadný úklid po hře. Obrázek je na třetí straně obálky

Obr. 11. Specializovaná stavebnice pro výuku ve školách. Musí vydržet opakované, ne příliš šetrné zacházení. Důraz je kladen na názornost zapojení. Jednotlivé pokusy jsou popsány na samostatných, vyjímatelných listech, aby bylo možné návod přiložit žákům k úloze. Obrázek je na 4. straně obálky

Obr. 12. Jednotlivé součástky jsou chráněny krabičkou, jsou však dobře viditelné zespodu. Obrázek je na 4. straně obálky

Obr. 13. Spodní řada pružin fixuje krabičku v rámu, horní slouží k propojení. Obrázek je na 4. straně obálky

Obr. 14. Pokusné zapojení je názorné a umožňuje učiteli při výkladu funkce velmi snadno ukázat vliv různých prvků na činnost obvodu, jejich připojováním, odpojováním nebo záměnou. Obrázek je na 4. straně obálky

Obr. 15. Příklad amatérské stavby složitější stavebnice. Obrázek je na 4. straně obálky

1.3 Jednoúčelová stavebnice

Podchytí-li univerzální stavebnice zájem dítěte, je dítě na nejlepší cestě stát se elektronikem – amatérem nebo později i elektronikem – profesionálem. V této etapě předpokládáme koupi transformátorové páječky a touhu „něco" udělat, zhotovit. Pro začátek jsou nejvýhodnější účelové stavebnice, později různá zapojení podle časopisů a vlastního návrhu. Nejrozmanitějších jednoúčelových stavebnic existuje rozsáhlá řada. Nejčastější jsou stavebnice různých funkčních bloků. Obsahují obvykle součástky, desku s plošnými spoji, schéma zapojení. Některé jsou vyráběny továrně v určitých soupravách, např. Kiev 2,3. Jiné jsou kompletovány obchodními organizacemi, např. u nás Eltos, v NSR Oppermann, Völkner aj. U těchto stavebnic je někdy nebezpečí, že jsou kompletovány podle návodů, uveřejněných v různých časopisech. Návody obvykle popisují výsledky, jichž autor dosáhl na jednom nebo několika vzorcích. Většinou nejsou prověřeny dostatečně komplexně a opakovanou výrobou, jako je tomu u továrních výrobků.

Některá jednodušší zapojení pracují pak „na první zapojení", jiná z nejrůznějších důvodů pracovat odmítají a je třeba hledat závadu. Tak či onak nejpozději v této době se mladý zájemce setká s nutností zkoušet a měřit.

1.4 Měřicí přístroje pro zájmově-technickou činnost

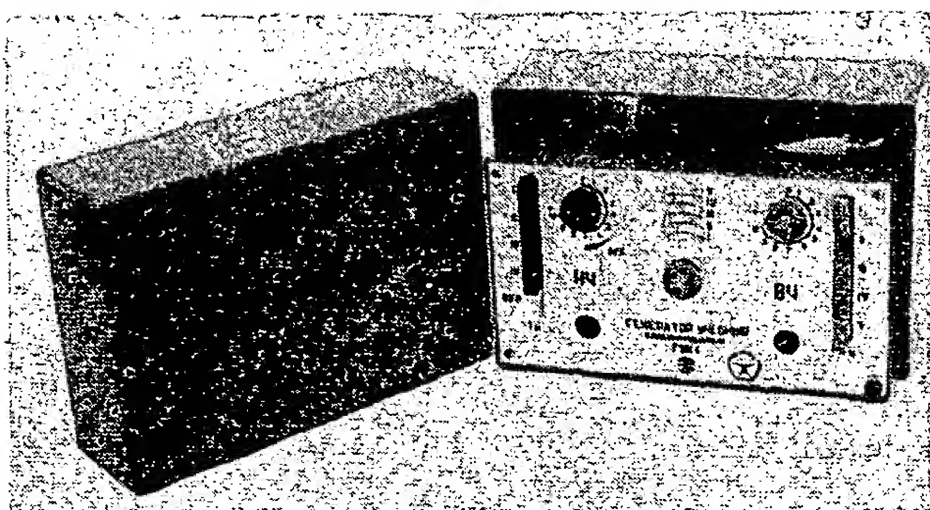
Továrně vyráběné elektronické měřicí přístroje na našem trhu dosud scházely. Výrobky určené pro průmyslové použití leží v neúměrných cenových hladinách. Vyřazené starší typy měřicích přístrojů zřídka vyhovují současným požadavkům. Protože již nelze zajistit jejich opravy v opravnách, jejich doba života je omezena výskytem první vážnější poruchy. Ani drobnější opravy a údržba nepatří mezi nejvhodnější způsob technického vzdělávání a trávení volného času.

V posledních letech můžeme sledovat rostoucí nabídku výrobků nejen na trhu vyspělých kapitalistických států, ale i rozšiřující se sortiment sovětských výrobců.

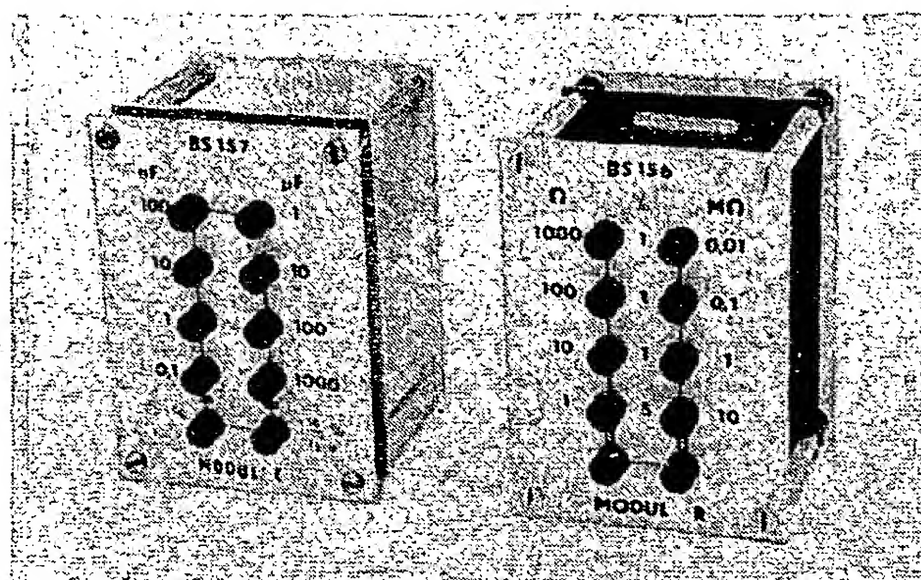
Měřicí přístroje pro spotřebitelský trh mají svou zvláštnost v tom, že se při jejich návrhu hledá optimum mezi technickými parametry a konečnou cenou výrobku (i s uvážením společenského významu zájmově-technického vzdělávání).

Dnes není technickým problémem navrhnout dokonalý výrobek. Ten však nesplní svůj účel, bude-li cenově nedostupný. Povšimněme si přístroje na obr. 16. Jde o kombinovaný nf – vf generátor GUK-1 sovětské výroby. Vf signál pokrývá pásmo 0,1 až 30 MHz (mimo úsek 1,8 až 4,0 MHz souvisle), nf signály 100, 500, 1000, 5000 a 15000 Hz mohou být použity i pro modulaci generátoru. Technickým omezením je použití destičkové baterie 9 V pro napájení, vzhledem k odběru 30 mA bude její doba života krátká.

Jiným příkladem je měřič rezonance GIR-1 (obr. 17) pokrývající pásmo 0,4 až 40 MHz. Na stránkách časopisu Sdělovací technika se čtenáři setkali s popisem



Obr. 16. Kombinovaný nízkofrekvenční a vysokofrekvenční generátor GUK-1 ze SSSR



Obr. 18. Modul může mít různé uspořádání. Umístění strany spojů směrem ke štítku (modul C) je kompaktnější, s kratšími spoji, při umístění spoje směrem k zadní stěně je spoj při vyjmutí modulu z pouzdra přístupnější, ale spoje jsou méně přehledné a delší

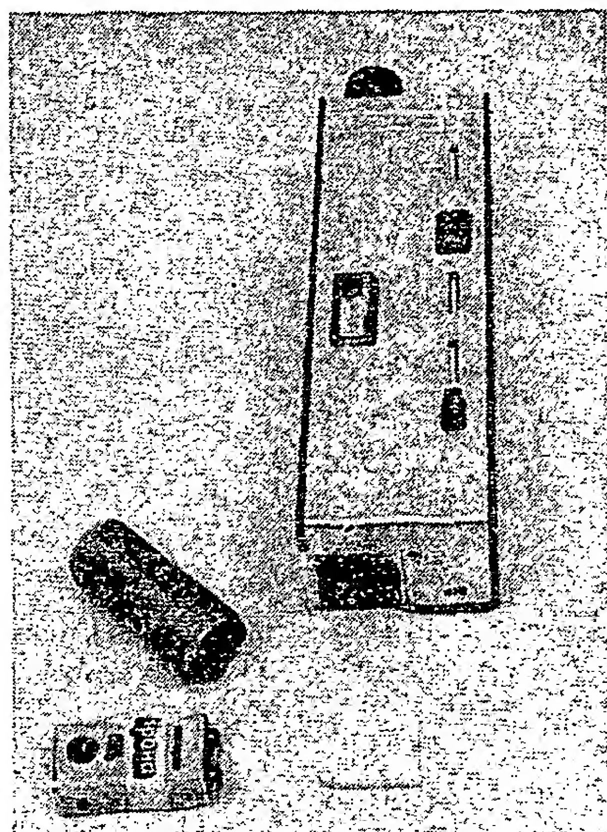
malého osciloskopu N 313 s obrazovkou o průměru stínítka 50 mm. Jehō kmitočtová charakteristika vertikálního zesilovače je rovná do 1 MHz a vlastnostmi i cenou 125 Rbl (1983) je přitažlivý pro naše elektroniky. Sovětský časopis Radio popisuje i další výrobky – např. číslicový multimetr VR-11 nebo měřicí komplex MULTITEST, tvořený základní jednotkou, obsahující nf generátor, ss a nf milivoltmetr s doplňujícími bloky měřiče *RCL*, tranzistorů a tvarovače impulsů (160 Rbl).

V ČSSR začal výrobu elektronických měřicích přístrojů, určených pro školní i zájmově technickou výuku, k. p. TESLA Brno (viz kapitola 5).

1.5 Modulové přístroje

Základní potřebné měřicí přístroje si ovšem může zájemce zhotovit sám. Nejprve však musí kriticky zvážit předpokládaný rozsah své činnosti, vlastní znalosti, finanční i časové možnosti, trpělivost a smysl pro soustavnou práci. Z toho vyplyne, jaké množství a jak náročných přístrojů si bude stavět. K rozhodování o množství a druhu měřicích přístrojů může pomoci další odstavec.

Je užitečné a často i nezbytné mít možnost každou součást před použitím přeměřit. Nejčastěji potřebujeme (pro pasivní součástky) ohmmetr a měřič kapacity. Pro ověření, zda je použitá součást v pořádku, postačí přesnost měření 5 až 10 %. Podstatně větší přesnost (lepší než 1 %) znamená značné zvýšení nákladů, obtíže s nastavováním přístroje v amatérských podmínkách a přitom se jí využije málokdy. Měření indukčnosti lze pro začínající a mladé elektroniky vynechat, neboť obvykle pracují podle stavebních návodů, v nichž jsou cívky jen málokdy, nebo je jejich zhotovení přesně popsáno. U polovodičových prvků většinou postačí zkoušení systémem dobrý – vadný, protože starší a použité prvky jsou obvykle buď v pořádku, nebo byly nevratně poškozeny a nejsou schopny činnosti. Částečná zhoršení vlastností jsou podstatně méně častá.



Obr. 17. Sací měřič rezonance GIR-1 ze SSSR

Pro oživování vlastních výrobků je třeba mít k dispozici alespoň stejnosměrný voltmetr a pro kontrolu proudu (hlavně na počátku oživování) je velmi užitečný ampérmetr. Osciloskop je sice neocenitelný přístroj, ale pro jeho obtížnou dostupnost a vysokou cenu s ním ve vybavení mladého elektronika počítat nemůžeme. Amatérská stavba osciloskopu není pro mladé a začínající zájemce vhodná jednak pro vysokou cenu a obtížnou dostupnost obrazovek a poměrnou složitost zapojení, jednak vzhledem k bezpečnostním předpisům, protože pro napájení obvodů osciloskopu potřebujeme taková napětí, s nimiž osoby bez elektrotechnické kvalifikace podle vyhlášky 50/1978 Sb. a ČSN 343100 nesmí pracovat.

Výhodným pomocníkem je sledovač signálu, to je nízkofrekvenční zesilovač s reproduktorem (vybavený navíc diodovým vstupem pro pokusy s přijímači AM).

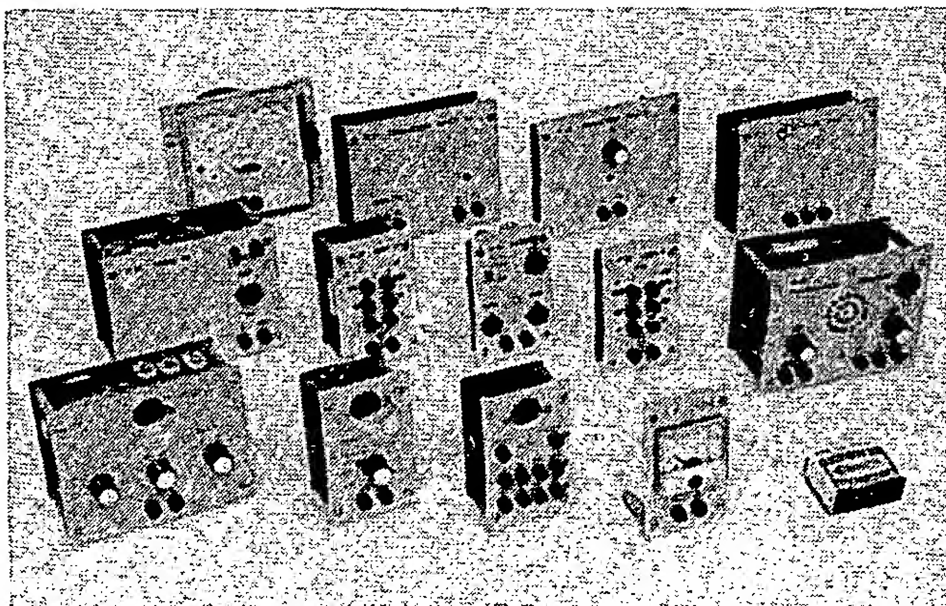
Často také potřebujeme zdroj střídavého signálu. Může jím být nízkofrekvenční generátor. Mnohdy však postačí multivibrátor, který je velmi jednoduchý a jehož signál můžeme používat při práci s nízkofrekvenčními i vysokofrekvenčními obvody.

Základní „přístroj", stejnosměrný napájecí zdroj, který je potřebí vždy, jsme nechali na konec. Na konec proto, abychom důrazně upozornili na to, že nekvalifikovaní pracovníci – a těmi je i mládež – nesmí pracovat se síťovým napětím. Proto také nepatří např. na výstavky prací kroužků mládeže síťové tyristorové regulátory osvětlení, rychlosti otáčení apod. Že není snadné zhotovit napájecí zdroj nebo ze sítě napájený měřicí přístroj tak, aby splňoval všechny bezpečnostní požadavky, ukážeme ve 2. kapitole. Začínající amatér by měl vždy pracovat s bateriemi, nebo s průmyslově vyráběnými zdroji, opatřenými značkou ESČ. Baterie však mají omezenou dobu života, pro vážnější a soustavnější práci nestačí. Pak je třeba použít vhodný bezpečný napájecí zdroj. S továrně vyrobenými zdroji nemůžeme pro začínající elektroniky počítat, v domácnostech se nepoužívají a pro toho, kdo netráví většinu volného času ve své dílně, jsou příliš drahé. Často jsou však doma elektrické vláčky. K příslušenství vláčků patří napájecí zdroje. Např. transformátor FZ 1 má na výstupu střídavé napětí 16 V pro odběr do 1,2 A a stejnosměrné napětí 1,7 až 12 V, plynule regulovatelné. Oba obvody jsou odděleny a každý z nich je samostatně jištěn termoelektrickou nadproudovou pojistkou a pojistkou proti zkratu. Jednodušší zdroj podobného určení je F 2 s výstupním napětím ±2 až 12 V pro odběr do 0,6 A. Mezi dostupné bezpečné transformátory patří i zvonkový transformátor, o kterém již bylo v AR podrobně referováno. Poskytuje střídavé bezpečné napětí až 8 V při odběru do 0,2 A, ale i při jeho používání je nutno dodržet bezpečnostní předpisy.

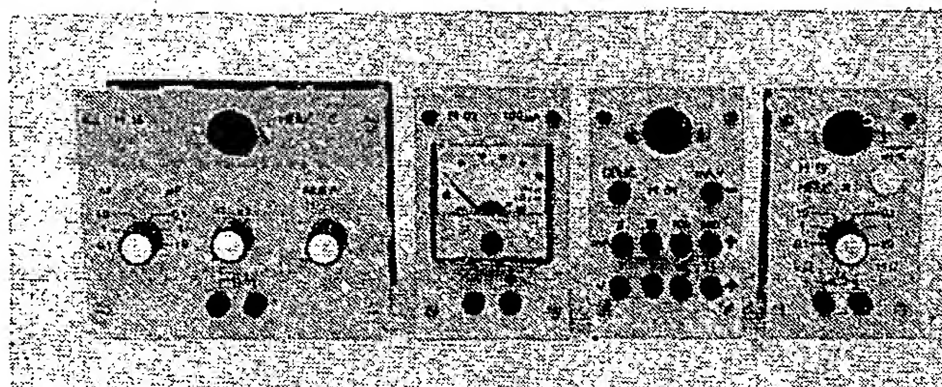
Než se rozhodneme pro budování měřicího pracoviště, je třeba kriticky posoudit, kolik místa máme pro svůj koutek k dispozici, musí-li se vždy „po použití" uklízet, nebo je-li stabilní apod. Ve všech případech však nedůvěřujeme příliš velkým, univerziálním „všeměrům". Tyto a podobné složité konstrukce v amatérských podmínkách zůstanou obvykle nedokončeny. To je škoda času, peněz i materiálu. Doporučujeme proto postupně stavět malé jednotky podle pořadí důležitosti. Kdyby však každá jednotka měla mít svou baterii, vzniklo by pracoviště s mnoha bateriemi, jehož udržování by bylo nepraktické a drahé. Zvolili jsme proto jednotné napájení 7 až 15 V. Spodní hranice je volena tak, aby byly plně využity dvě ploché baterie v sérii, protože běžného burelového suchého Leclancheova článku je vhodné využívat až do napětí asi 1,2 V.

Z těchto úvah jsme dospěli k řadě jednoduchých celků, kterým říkáme moduly. Pro běžné užití postačí jedna velikost 125 × 85 mm, kterou lze případně doplnit o poloviční modul 60 × 85 mm. Konstrukční uspořádání může být různé (obr. 18 a 19). Vybrali jsme nejprostší provedení s deskou s plošnými spoji, nesoucí všechny součásti včetně přepínačů a potenciometrů, rovnoběžnou s kovovým štítkem, nesoucím miniaturní zdířky. Provedení s deskou s plošnými spoji kolmou ke štítku (za cenu zvětšení hloubky modulu) by podstatně ztížilo mechanické provedení modulu.

Po zvážení všech potřeb a možností jsme došli k závěru, že přístroje pro mladé



Obr. 19. Ukázka opuštěné, dále nepopisované varianty co nejmenšího provedení, s umístěním součástek směrem k panelu a připojováním modulů na sběrnici zasunutím pětikolíkového konektoru s propojenými dvojicemi kontaktů na čelní straně modulu



Obr. 20. Detail provedení některých modulů z obr. 19

a začínající amatéry by měly z konstrukčního hlediska splňovat několik zásad:

- co nejjednodušší mechanická koncepce s velkou dědičností dílů (shodné mechanické díly u různých modulů),
- možnost zhotovit mechanické i elektrické části v domácích podmínkách bez speciálního nářadí,
- jednotná velikost nebo vhodná řada dvou až tří velikostí,
- jednotné napájecí napětí, pokud možno v širší toleranci, umožňující užít různé zdroje,
- použít jeden napájecí zdroj pro několik modulů,
- použít jedno měřidlo pro několik modulů,
- co nejsnazší stavba,
- oživení, případně nastavení s minimem potřebných přístrojů,
- co nejnižší cena,
- ke konstrukci použít jen běžné, dostupné součásti v omezeném počtu hodnot,
- jištění proti možnosti přetížení nebo nesprávného připojení ze strany vstupů, výstupů a napájení.

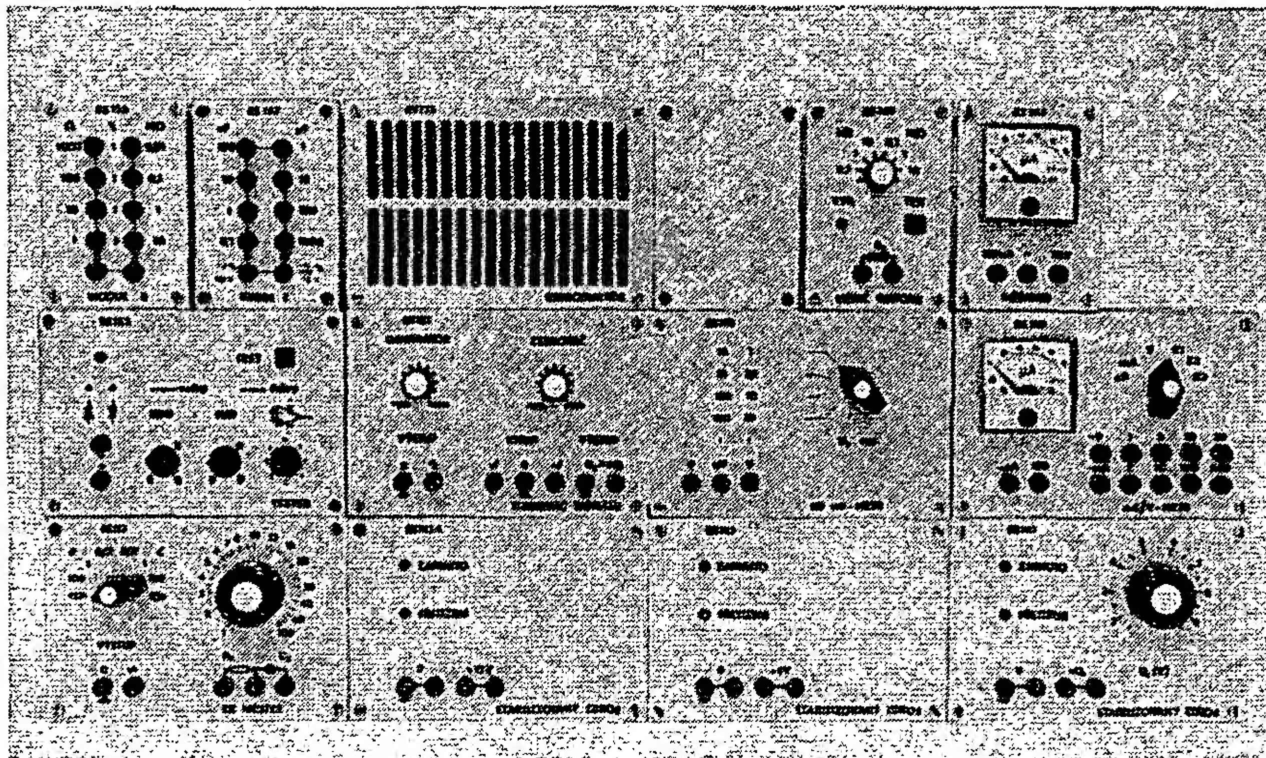
Z hlediska funkčního je třeba, aby moduly umožnily

- dodávat pevné nebo regulovatelné ss napětí pro napájení zkoušených zařízení a obvodů (dále popsané moduly M 01, M 02, M03),
- měřit ss napětí a ss proud (M 04),
- kontrolovat odpor součástek (M 08, M 09),
- kontrolovat kapacitu součástek (M 08),
- kontrolovat diody, bipolární tranzistory n-p-n i p-n-p a operační zesilovače způsobem dobrý – vadný, popř. měřit proudový zesilovací činitel tranzistorů (M 07, M 11),
- generovat nf signál a mít možnost sledovat nf signál (zesilovač a reproduktor) (M 05, M 06).

Všechny moduly je možné umístit do jednoduché kovové skříňky, která bude také popsána. To však není jediná možnost. Je vždy na každém uživateli, aby uvážil, jak bude moduly používat a jakému provedení dá přednost. Jednotlivé moduly lze například vestavět do krabičky U6 z plastické hmoty, nebo lze zhotovit jednu krabici z kovu, dřeva nebo sololitu pro určitou zvolenou sestavu modulů, všechny moduly do ní vestavět a uvnitř propojit. Ušetří se tím propojovací konektory a potřebná hloubka pro zastavění bude menší o prostor, potřebný vzadu pro konektory a kabely. Máme-li stabilní pracoviště, např. dílničku, a za pracovním stolem stěnu, je možné další řešení. Můžeme si zhotovit z několika prkének poličky na stěnu a do nich moduly umisťovat; připevníme je nejsnáze tak, že na horní a spodní straně zvětšíme štítek asi o 1 cm a v rozích vyvrtáme čtyři díry. Vruty přišroubujeme moduly k čelním hranám poliček. I v tomto případě propojíme moduly napevno bez konektorů. Pokud je zadní strana poliček nepřístupná, musí být propojovací vodiče tak dlouhé, aby umožnily přístup k modulu vyjmutému z poličky, což je nevýhoda tohoto uspořádání. Zkoušeli jsme také umístit konektory na čelní stěnu (obr. 19, 20). Byla uvažována i možnost, že by moduly byly umístěny a propojeny stabilně a zasunutím pětikolíkového konektoru s vhodně propojenými špičkami by se připojily na sběrnici napájení a měřidla. Z mnoha prověřovaných variant bylo nakonec vybráno dále popisované řešení. Příklad možného provedení různých modulů je na obr. 21.

Uvedenou řadu modulů v žádném případě nepovažujeme za řadu uzavřenou. Naopak, moduly lze bez větších nákladů a obměn postupně doplňovat o další přístroje, a to nejen z oblasti měřicí techniky. Podle vlastního uvážení lze konstruovat přístroje z oblasti číslicové techniky, zábavné elektroniky apod. Modulová řada je určena nejširšímu okruhu zájemců o elektroniku, je určena mládeži, pro organizovanou i individuální zájmovou činnost. Popsaná konstrukce vychází z modulové řady, která byla na celostátní výstavě ZENIT 1982 v Ostravě čtyřnásobně oceněna.

Stavbou modulu vznikne jednoduchý měřicí přístroj schopný činnosti buď samostatně, nebo ve spojení s dalším modulem. Z několika modulů lze sestavovat i složitější a účelová měřicí pracoviště. Jednotlivé moduly byly vícekrát ověřeny v elektronických zájmových kroužcích v Domě pionýrů a mládeže Brno, kde se plně potvrdila jejich reprodukovatelnost. Moduly mají jednotnou mechanickou i elektrickou koncepci. Jednotnost umožňuje snadné, rychlé a bezchybné sestavení měřicího pracoviště. Elektrická zapojení modulů představují optimalizovaná řešení pod heslem „za málo peněz hodně muziky!". Používají se v nich nejběžnější a nejdostupnější součástky v co nejužším sortimentu, tedy maximum shodných a perspektivních typů. Snahou autorů bylo zpracovat návody pro stavbu tak, aby byl schopen moduly sestavit a oživit s minimální potřebou doplňujících měřicích přístrojů i začínající elektronik.



Obr. 21. Ukázka možného provedení štítků v popisovaném řešení modulů

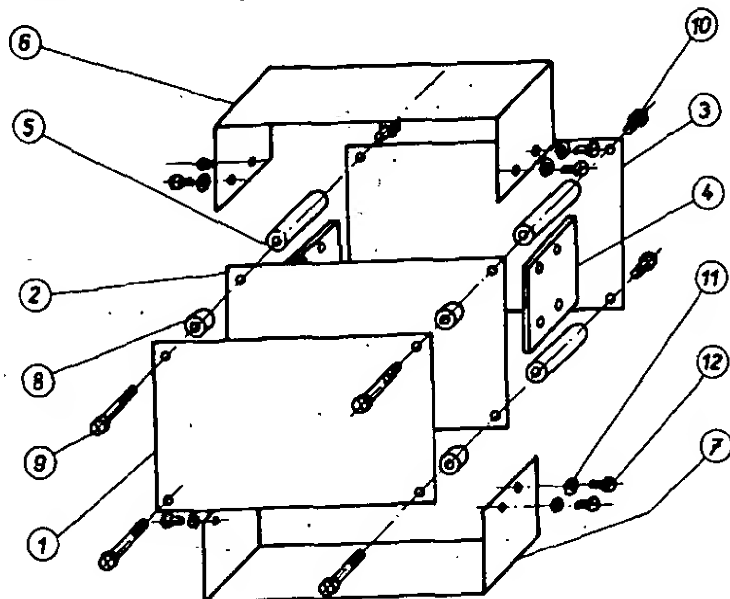
1.6. Mechanická konstrukce modulů

Moduly mají dvě základní velikosti, 125 × 85 mm nebo 60 × 85 mm a hloubku přibližně 50 mm (tab. 1). Základem modulu je deska s plošnými spoji, na níž jsou umístěny všechny součásti (včetně potenciometrů, přepínačů apod). Ze strany měděné fólie je čtyřmi distančními sloupky délky 10 mm uchycen čelní štítek z duralového plechu s popisem a čtyřmi distančními sloupky délky 40 mm se závity je ze strany součástek k desce uchycen zadní panel modulu s konektory (obr. 22). Tento mechanický celek je umístěn v jednoduché skříňce tvořené spodním a horním krytem tvaru písmene U z hliníkového plechu (obr. 23). Kryty jsou povrchově upraveny např. přestříkáním barvou, polepením tapetou apod. Čelní štítky modu-

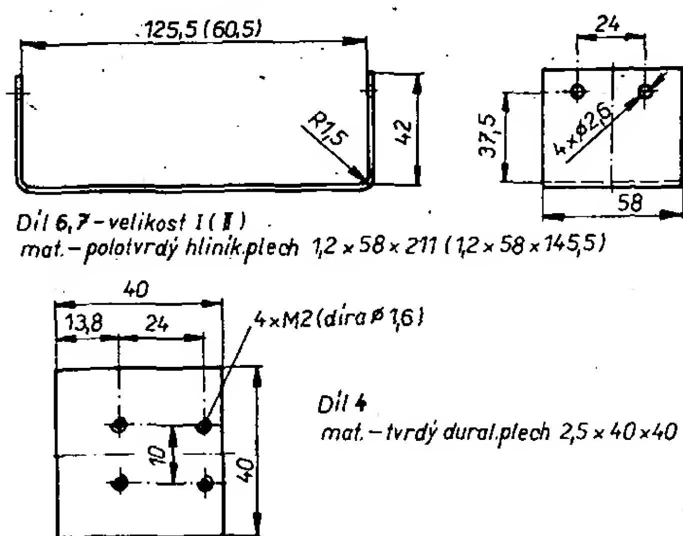
Tab. 1. Rozpiska dílů modulové skříně

Díl číslo	Název	Velikost I Počet ks	Velikost II Počet ks	Výkres na obr.
1	Štítek 125 × 85	1	–	25
	Štítek 60 × 85	–	1	25
2	Deska s plošnými spoji 123 × 83	1	–	Pozn. 1.
	Deska s plošnými spoji 58 × 83	–	1	Pozn. 1.
3	Zadní panel 125 × 85	1	–	25
	Zadní panel 60 × 85	–	1	25
4	Bočnice	2	2	23
5	Distanční sloupek *l* = 40 mm; závit M3 × 5	4	4	Pozn. 2.
6	Kryt horní	2	2	23
7	Kryt dolní	2	2	23
8	Distanční trubička *l* = 10 mm, Ø 7/3 mm	4	4	–
9	Šroub M3 × 15	4	4	–
10	Šroub M3 × 5	4	4	–
11	Podložka Ø 5/2,5	8	8	–
12	Šroub M2 × 6	8	8	–
Rozměry v mm.				

Pozn. 1. Výkresy uvedeny v kapitole 1, článek 9.
Pozn. 2. Náhradní řešení je na obr. 27.



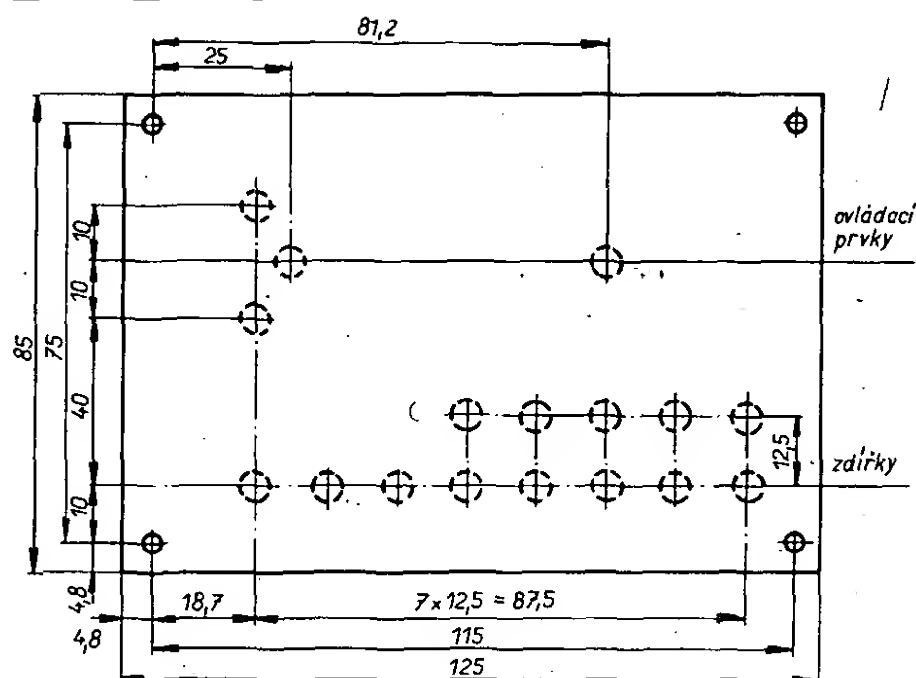
Obr. 22. Expandovaná sestava modulu ukazuje všechny mechanické díly zapouzdřeného modulu



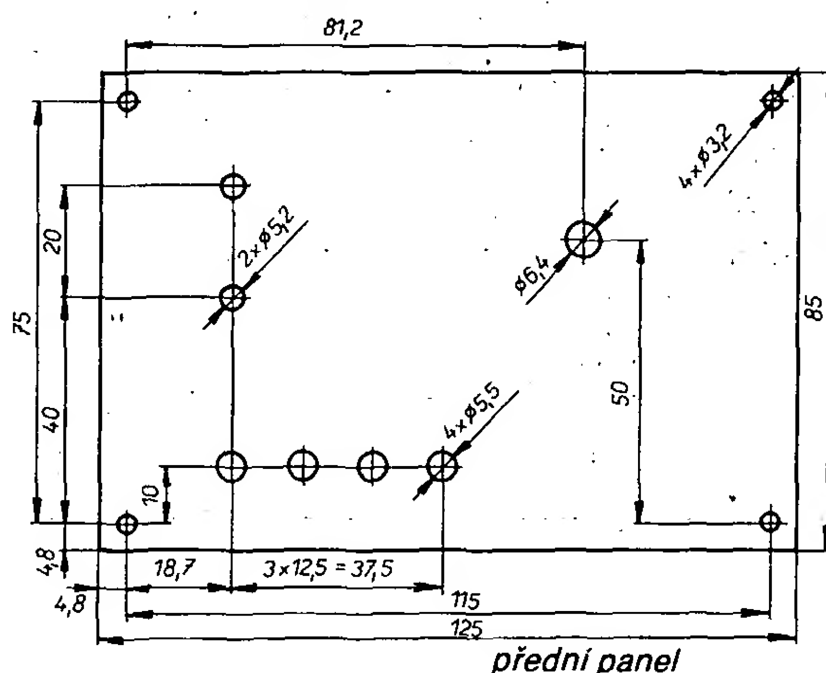
Obr. 23. Kryt modulu (malý a velký)

1.7 Elektrická konstrukce modulu

Všechny moduly jsou postaveny na deskách s plošnými spoji. Desky s plošnými spoji jsou navrženy převážně metodou dělicích čar, což je výhodné zejména pro začínající a méně zkušené radioamatéry pro snazší pájení na větší ploše a menší možnost přehřátí a odlepení měděné fólie od základního materiálu při delším pájení. Zanedbatelná není ani úspora leptací lázně, neboť odleptáváme podstatně menší plochy než u desek navržených metodou spojových čar. Deska se spoji je umístěna stranou fólie ke štítku, součástky směrem dozadu. Na desce s plošnými spoji jsou všechny součástky včetně přepínačů a potenciometrů, hřídele potenciometrů a přepínačů jsou na straně měděné fólie



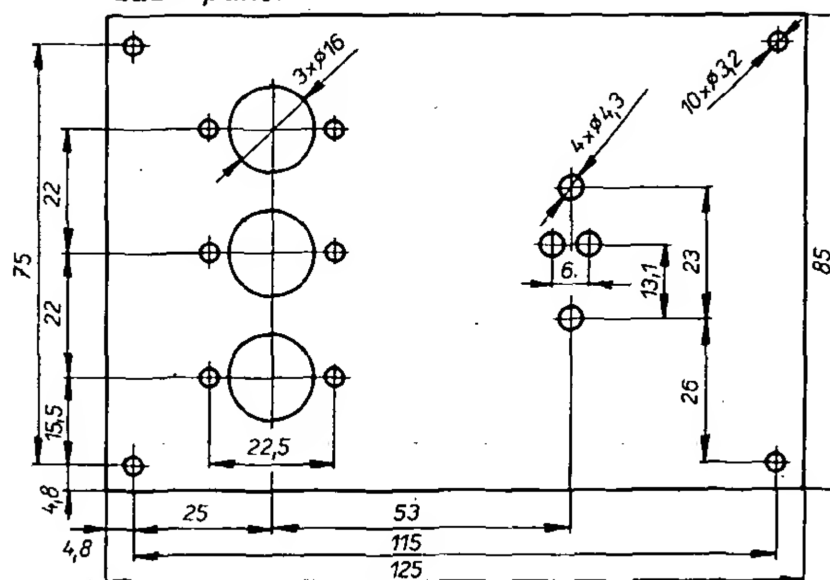
Obr. 24. Základní linie pro umístění ovládacích prvků a zdířek na čelním štítku



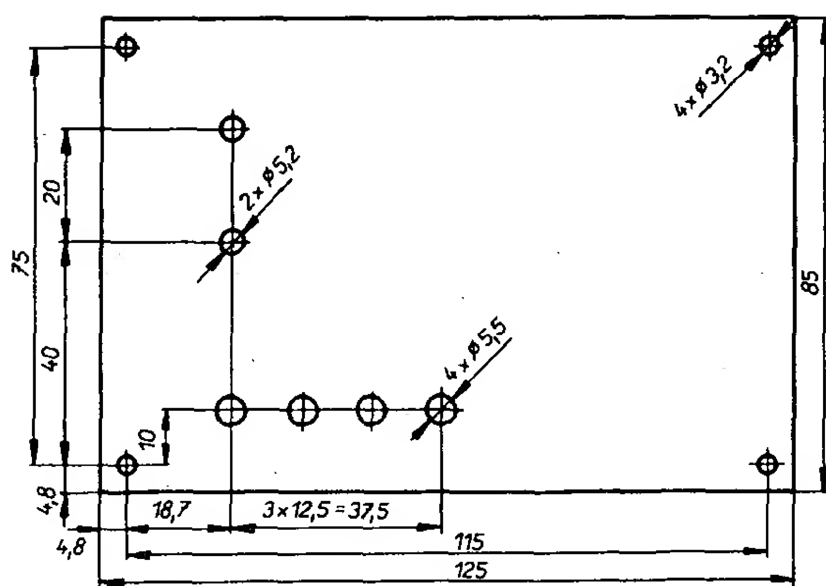
lů mají jednotný vzhled. Umístění děr pro zdířky a ovládací prvky je na obr. 24. Výkresy štítků modulů jsou na obr. 25.

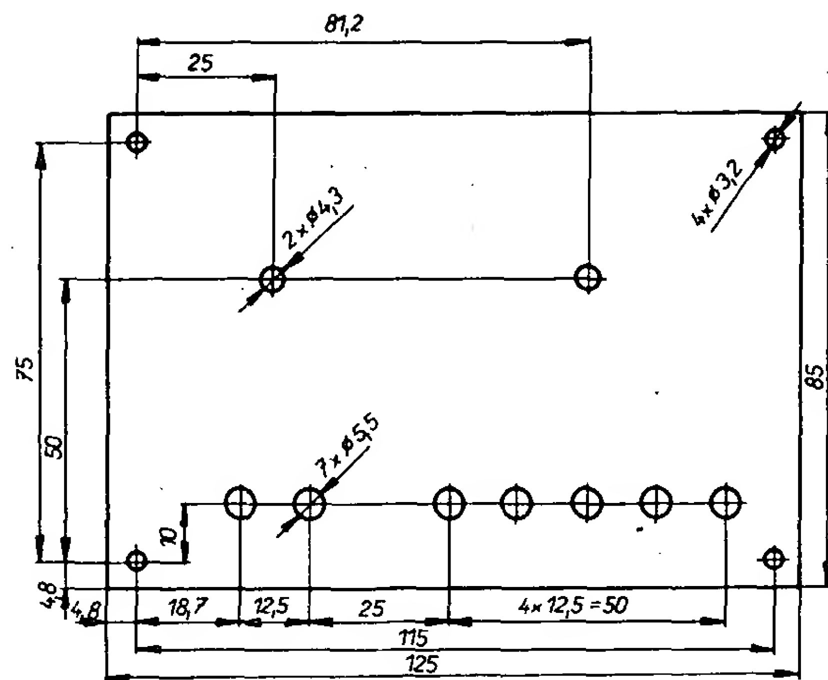
Jako náhradní řešení můžeme modul vestavět do plastové krabičky U6 v ceně 11,50 Kčs. V tom případě odpadne čelní štítek a zadní panel modulu. Desku s plošnými spoji přichytíme ke krabičce distančními sloupky 10 mm a jako štítek s popisem můžeme použít předtisk z obr. 25, který vystřihneme a přilepíme ke krabičce. Před ušpiněním a poškozením jej neopomeneme chránit, např. lakem Pragosorb. Na obr. 26 jsou upravené moduly v krabičce U6 umístěné v cestovním kufříku. Distanční sloupky lze v nouzi nahradit páskem plechu podle obr. 27.

M01



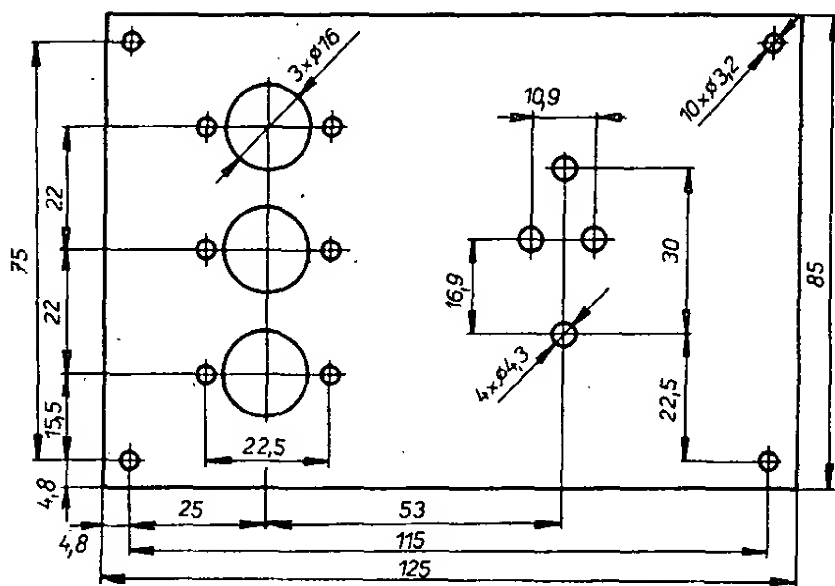
Obr. 25. Výkresy panelů modulů ▶



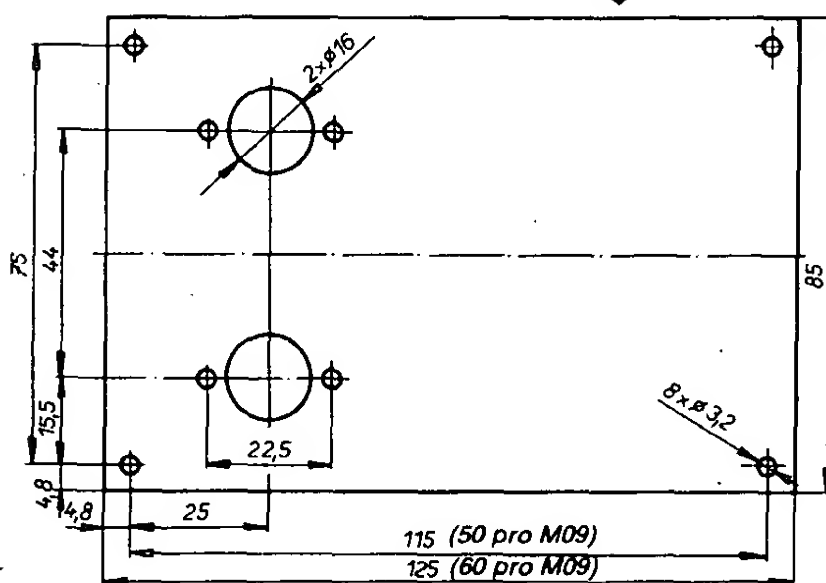


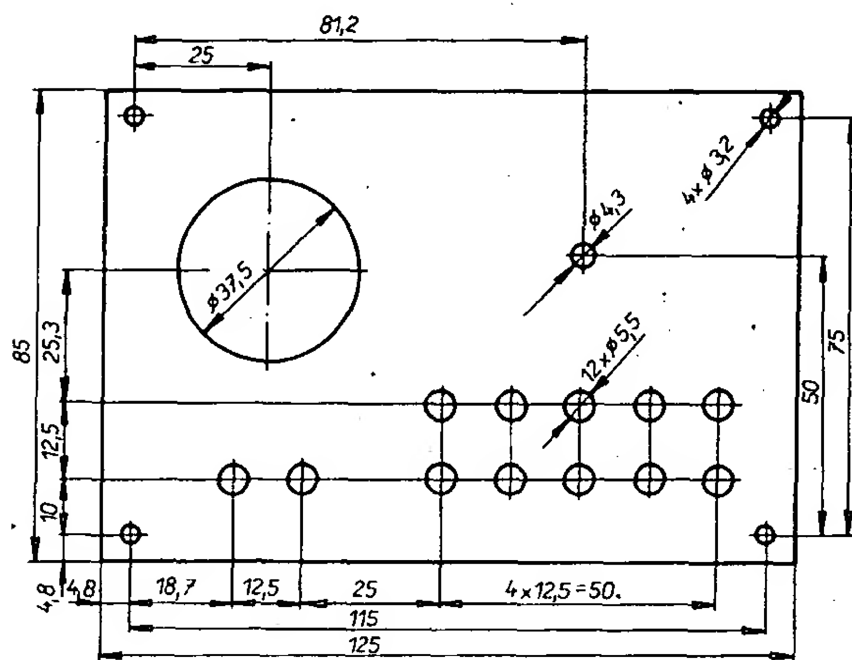
M02, M03

M05

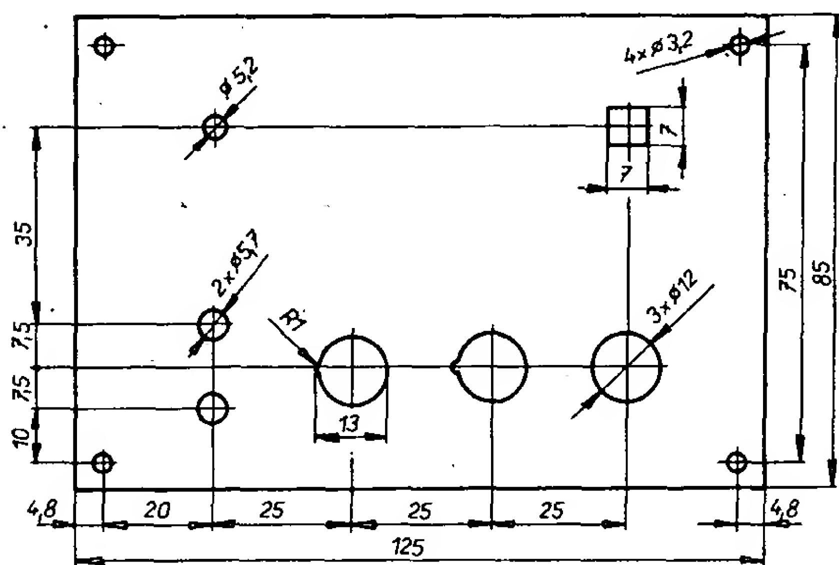


M05, M07, M08, M11



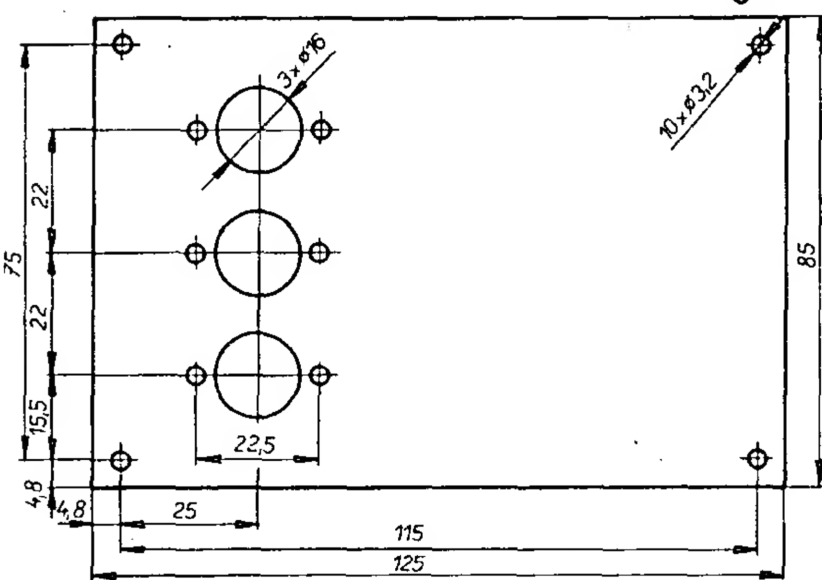


M04

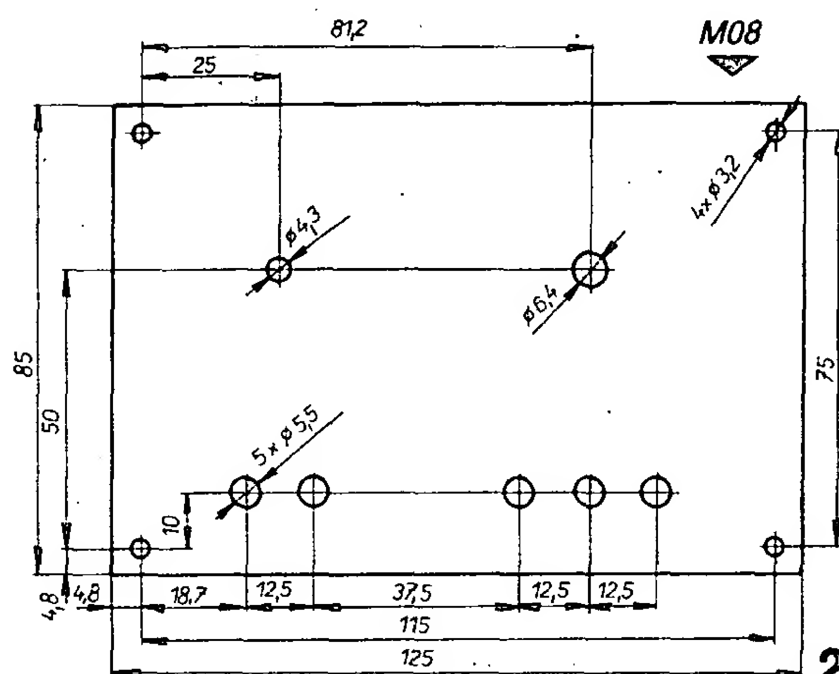


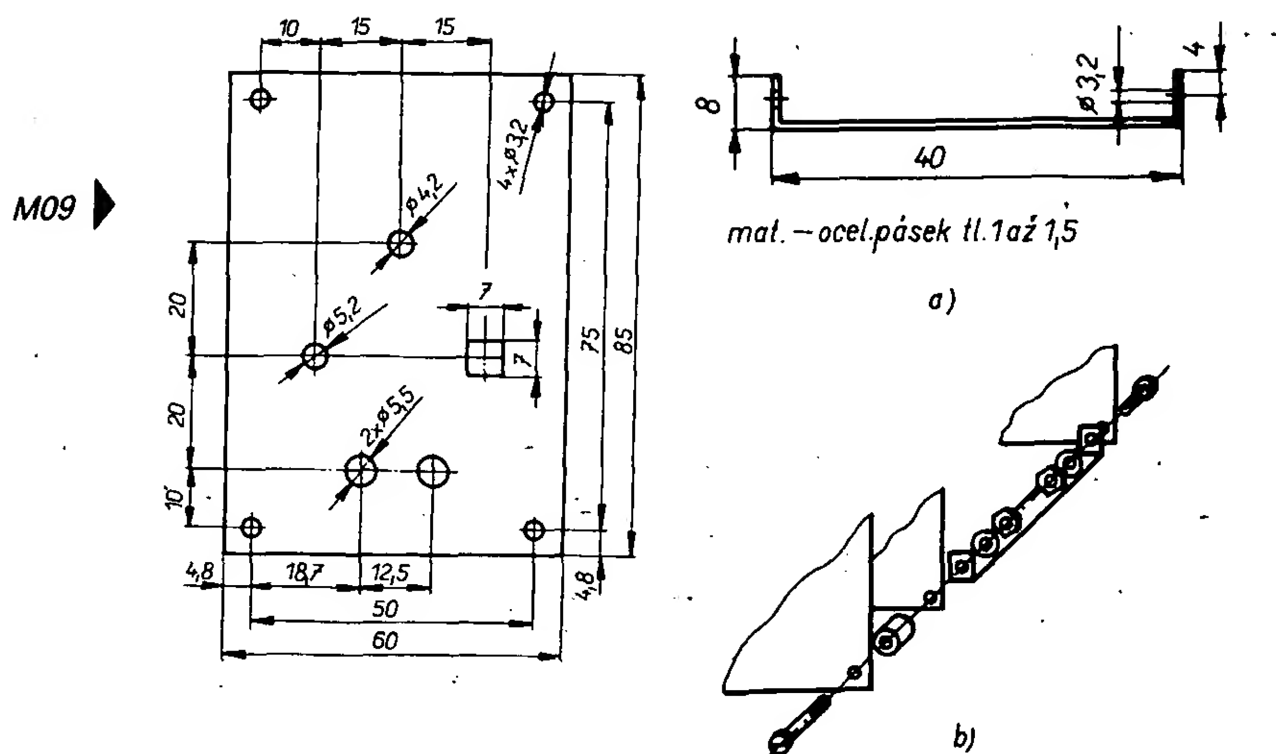
M07

M04 (M05)

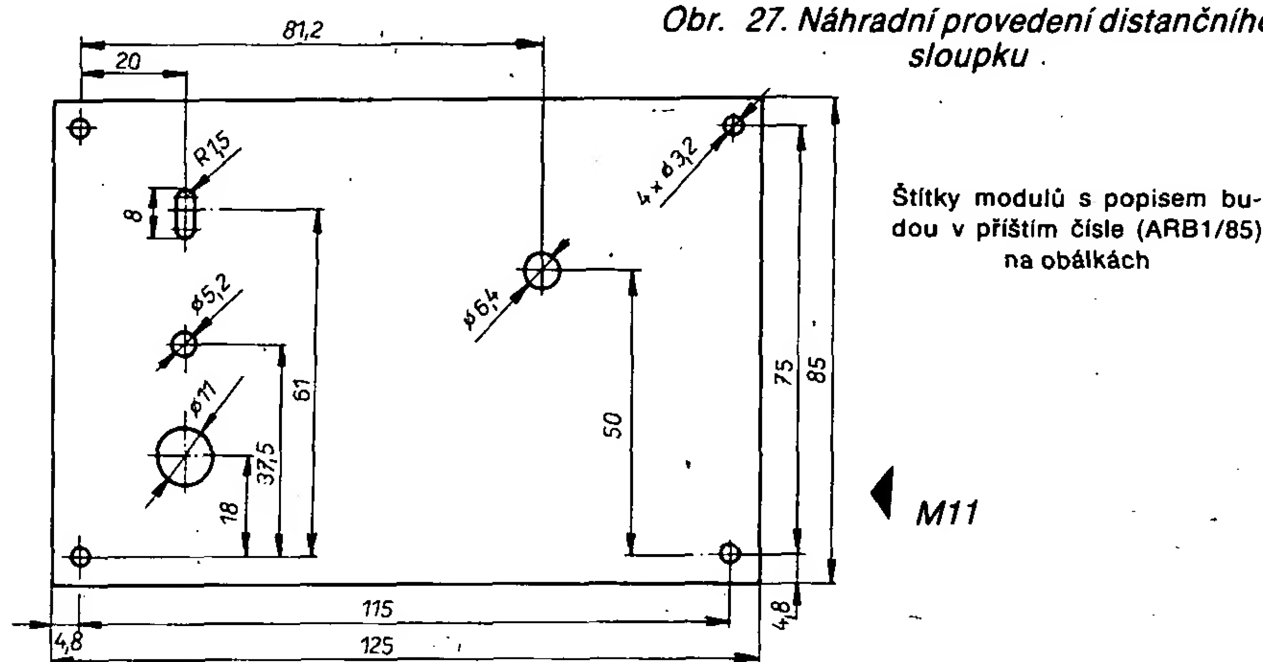


M08

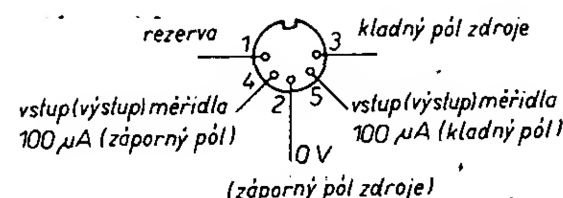




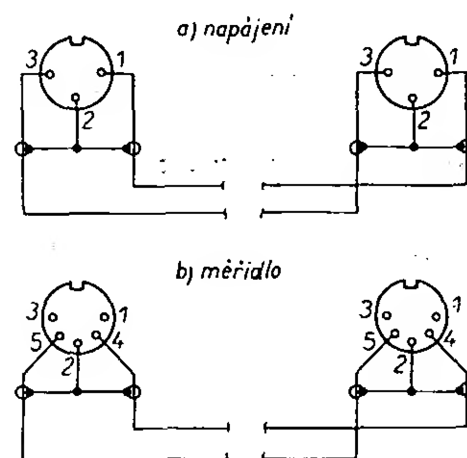
Obr. 27. Náhradní provedení distančního sloupku



Štítky modulů s popisem budou v příštím čísle (ARB1/85) na obálkách



Obr. 28. Zapojení pětipólové zásuvky (ze strany pájecích špiček)



Obr. 29. Univerzální propojovací kabel (ze strany pájecích špiček)

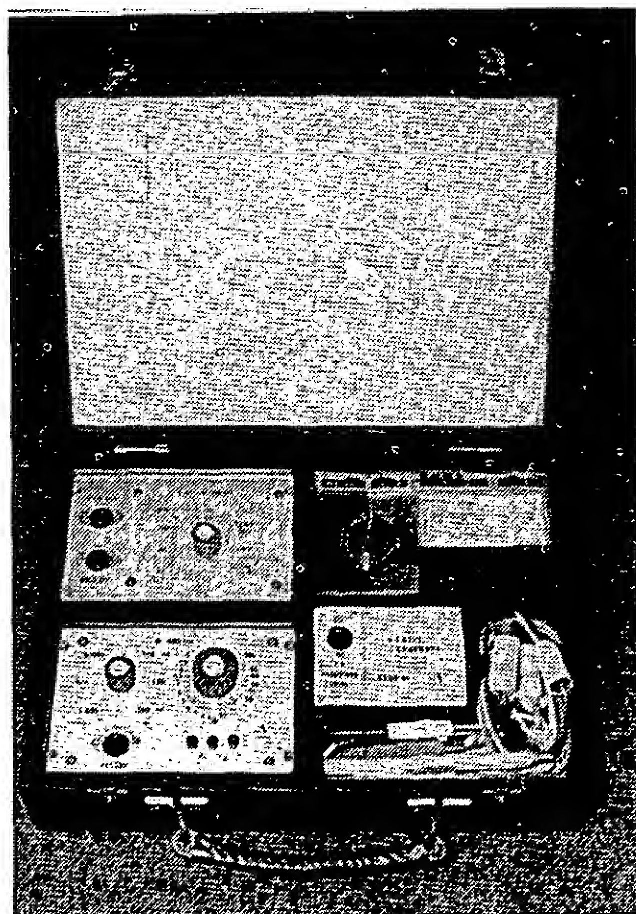
a jejich vývody jsou s plošnými spoji propojeny drátovými spojkami. Svítivé diody jsou umístěny vždy ze strany spojů tak, aby svítící část pouzdra procházela čelním štítkem. Přívod napájecího napětí je v desce vyveden na pájecí body (pájecí špička, dutý nýtek apod.).

Moduly jsou navrženy tak, že mohou pracovat v širokém rozsahu napájecích napětí (7 až 15 V). Zapojení jsou řešena s ohledem na minimální odběr proudu. Moduly jsou jištěny jak proti přepólování napájecího napětí, tak proti přetížení ze strany vstupu i výstupu.

Hlavní předností modulového systému je způsob vzájemného propojování jednotlivých modulů při sestavování měřicího pracoviště. Vstupní a výstupní body zapojení (vstup napájení, výstup pro měřidlo, výstup stabilizovaného zdroje) jsou totiž vyvedeny na běžné levné nf pětikolíkové konektory na zadním panelu modulu jednotným způsobem (jednotná sběrnice). Uspořádání vývodů konektoru je na obr. 28. Tam, kde je to účelné, je na zadním panelu několik paralelně propojených konektorů (stabilizovaný zdroj, měřič *RC*, ohmmetr apod.). K vzájemnému propojování jednotlivých modulů slouží 2 typy propojovacích kabelů (obr. 29). Zasuneme-li univerzální napájecí kabel do konektorů, vždy se bezchybně propojí napájecí obvody. Měřicí kabel je použit pro připojení modulů s výstupem pro měřidlo k modulu měřidla, případně jinému měřicímu přístroji. Budou-li na zadním panelu dva paralelně spojené konektory, bude současně i lhostejné, který použijeme pro přívod napájení a který pro připojení měřidla.

Nezapojený pól č. 1 konektoru můžeme v budoucnu použít pro rozvod záporného napájecího napětí při použití modulů s operačními zesilovači, vyžadujícími symetrické napájecí napětí, případně pro rozvod +5 V, dáme-li přednost většímu počtu modulů s číslicovými obvody.

Aby nedošlo k záměně konektorů, je pro přívod střídavého napětí z transformátoru do modulů stabilizovaných zdrojů použit konektor odlišného typu. Rovněž modul reproduktoru je připojen standardním způsobem, odpovídajícím druhem konektoru.



Obr. 26. Foto modulů ve skříňce U6 umístěných v přenosném kufříku

Místo předepsaných přesných rezistorů TR 191 mohou být použity i jiné typy s odpovídající tolerancí, např. TR 161, nebo vybrané rezistory typů TR 151, TR 213, MLT 0,25.

1.8 Všeobecné zásady pro oživování zapojení

Než přistoupíme k návodům na stavbu jednotlivých modulů, nebude na škodu zopakovat si alespoň hlavní zásady, které je při jejich stavbě třeba dodržovat.

1. Před osazováním desky s plošnými spoji pečlivě zkontrolujeme kvalitu odleptání mezer, zda nezůstaly zbytky mědi mezi sousedními spoji a netvoří tak nežádoucí vodivé můstky a zkraty. Dále kontrolujeme, zda není fólie někde přerušena či odtržena od základního materiálu.
2. Všechny součástky před zapájením do desky s plošnými spoji alespoň orientačně přeměříme, abychom si ušetřili pozdější případnou námahu s přemýšlením či zjišťováním, zda rezistor 100 Ω má skutečně odpor 100 Ω a ne například 100 kΩ se smazaným písmenem K, případně zda jsme správně vyluštili barevný kód apod.
3. Osazenou desku pečlivě zkontrolujeme podle schématu zapojení. Kontrolujeme, není-li chyba v osazení desky, nejsou-li zaměněny součástky, mají-li osazené součástky správné hodnoty apod.
4. Při oživování připojujeme zařízení zásadně nejprve na snížené napájecí napětí a to vždy přes ampérmetr. Nemáme-li k dispozici ampérmetr, nahradí jeho funkci ve většině případů i vhodně volená žárovka. Svitem upozorní na zvětšený odběr proudu nebo zkrat a současně omezí odebíraný proud. Použití regulovatelného zdroje lze obejít tím, že zařízení napájíme nejprve např. jedním monočlánkem, přesvědčíme se, nemá-li zkraty a pak napájecí napětí zvětšujeme až do jmenovitého napájecího napětí. Na počátku oživování vždy pečlivě sledujeme proud odebíraný z napájecího zdroje. Je-li mimo povolené meze (vlákno žárovky jasně svítí), zařízení od napájecího zdroje odpojíme. Velký proud svědčí obvykle o chybě v zapojení (například kapka cínu mezi vývody, nesprávně zapojená součástka apod.).

Nepodceňujte tuto kontrolu, námaha, kterou jí věnujeme, se mnohoná-

sobně vrátí v úspoře času i peněz za zničené tranzistory a zbytečně nakoupené součástky!

5. Je-li odebíraný proud přibližně v mezích pro dané zapojení, přistoupíme k vlastnímu oživení a nastavení. Zpravidla postupujeme po částech a dbáme pokynů v návodu.

1.9 Základní moduly

Stejnosměrný voltmetr – miliampérmetr M 04

Modulový univerzální měřicí přístroj M 04 je určen k měření nejběžnějších stejnosměrných napětí a proudů. Vychází ze základní koncepce modulového systému – vzhledem k vysoké ceně měřidla je využíván jednak samostatně, jednak v součinnosti s dalšími moduly. Tomu odpovídá i konstrukční řešení přístroje. Vstupy pro jednotlivé rozsahy napětí a proudů jsou vyvedeny na zdířkové pole, přepínač je určen pro přepínání funkcí – měření napětí, měření proudů a připojení tří jednotných vstupů pro spolupracující moduly (např. M 01, M 09), tzv. systému sběrnice měřidla. Všechny vstupy, včetně proudových, jsou chráněny proti přetížení. Metody kalibrace přístroje pamatují i na možnost nastavení bez použití dalších měřicích přístrojů.

Základní technické údaje

Rozsahy měření napětí: 1–5–10–20 V.
Vnitřní odpor voltmetru: 10 kΩ/V.
Chyba měření napětí:
podle nastavení v rozmezí ±4 až ±6 % z plné výchylky ručky.
Rozsahy měření proudu: a) 100 μA, b) 1–10–100–500 mA.
Úbytek napětí na proudových rozsazích: typ. 0,28 V.
Chyba měření proudu:
podle nastavení v rozmezí ±5 až ±10 % z plné výchylky ručky.

Počet vstupů pro součinnost s dalšími moduly: 3.

Pozn.: Obvody voltmetru, miliampérmetru a jednotlivé vstupy pro součinnost jsou od sebe galvanicky odděleny.

Popis zapojení

Schéma zapojení modulu je na obr. 30. Použité měřidlo je typu MP40, 100 μA, třídy přesnosti 2,5 %. Obvod s rezistory R_1 až R_3 a diodami D_1, D_2 slouží k ochraně měřidla proti přetížení. Rezistory R_1 až R_5 současně upravují citlivost na požadovanou velikost 0,25 V/100 μA. Obvod zaručuje ochranu měřidla proti přepětí až do hranice pro mládež bezpečného napětí 24 V obou polarit.

Bočníky R_6 až R_{13} jsou chráněny řetězcem diod D_3 až D_{10} a tavnou pojistkou Po_1 na vstupu. Typy rezistorů jsou zvoleny ze současného sortimentu. Rezistory menších odporů, použité pro rozsahy 100 mA a 500 mA (R_8, R_9; R_{11}, R_{12}) nejsou vyráběny v toleranci ±1 %, proto je musíme nastavovat paralelními přídavnými rezistory (R_{10}, R_{13}). Rezistory R_{14} až R_{19} tvoří předřadné odpory pro napěťové rozsahy. Vstupy pro součinnost jsou vyvedeny na konektory K_1 až K_3.

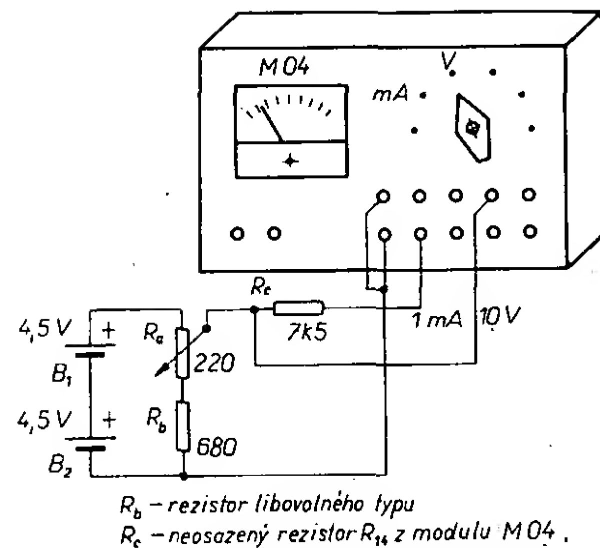
Montáž a nastavení

Deska s plošnými spoji univerzálního voltmetru-miliampérmetru je na obr. 31.

Před osazováním desky s plošnými spoji součástkami nejdříve prosvětlením zkontrolujeme kvalitu odleptání mezer, zda mezi vodivými cestami nezůstaly vodivé můstky a zkraty a není-li fólie přerušena nebo odtržena od základního materiálu. Všechny součástky před osazením do desky alespoň orientačně změříme. Rozložení součástek na desce je na obr. 32. Osadíme všechny součástky mimo R_{10}, R_{13} a R_{14}. Přepínač je v desce umístěn tak, že jeho hřídel je na straně měděné fólie a matice je podložena izolační podložkou. S deskou jsou kontakty přepínače propojeny drátovými spojkami. Metodu nastavení zvolíme podle možností.

A. Nastavení bez dalších přístrojů

a) Na desce osadíme za R_{10} – 39 Ω; za R_{13} – 6,8 Ω.
b) Sestavíme zapojení podle obr. 33.

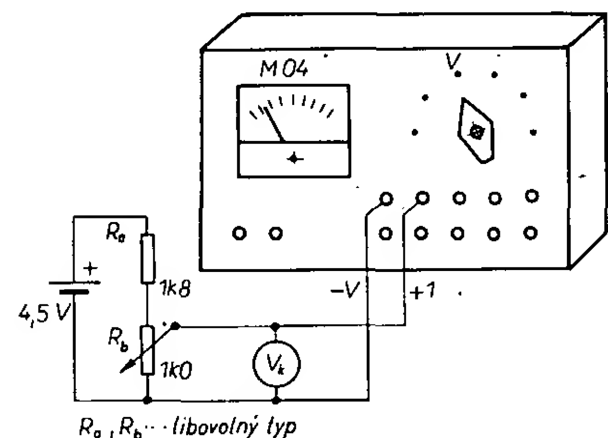


Obr. 33. Zapojení pro nastavování bez použití voltmetru

c) Přepneme přepínač funkce do polohy „V" a potenciometrem R_a libovolného typu nastavíme výchylku 7,75 V, tj. 77,5 dílku. To odpovídá poloze ručky uprostřed mezi ryskami dílků 75 a 80.
d) Přepneme přepínač do polohy „mA" a nastavíme trimrem R_5 plnou výchylku ručky měřidla, tj. 100 dílků. Nestačí-li rozsah trimru, přemostíme postupně rezistory R_1 až R_3, dokud nebude možno výchylku nastavit.
Postupujeme v pořadí:
– zkrat R_1,
– rozpojení zkratu R_1, zkrat R_2,
– zkrat R_1 a R_2,
– rozpojení zkratů R_1 a R_2, zkrat R_3,
– zkrat R_1 a R_3,
– rozpojení zkratu R_1, zkrat R_2 a R_3.
Cílem je zachovat co nejmenší odpor trimru R_5 (sběrač, jezdec nesmí však být na samém počátku dráhy – nejlépe v 1/3) a co největší celkový odpor kombinace R_1 až R_3, které tvoří s diodami D_1 a D_2 ochranný obvod. Tím je přístroj nastaven.

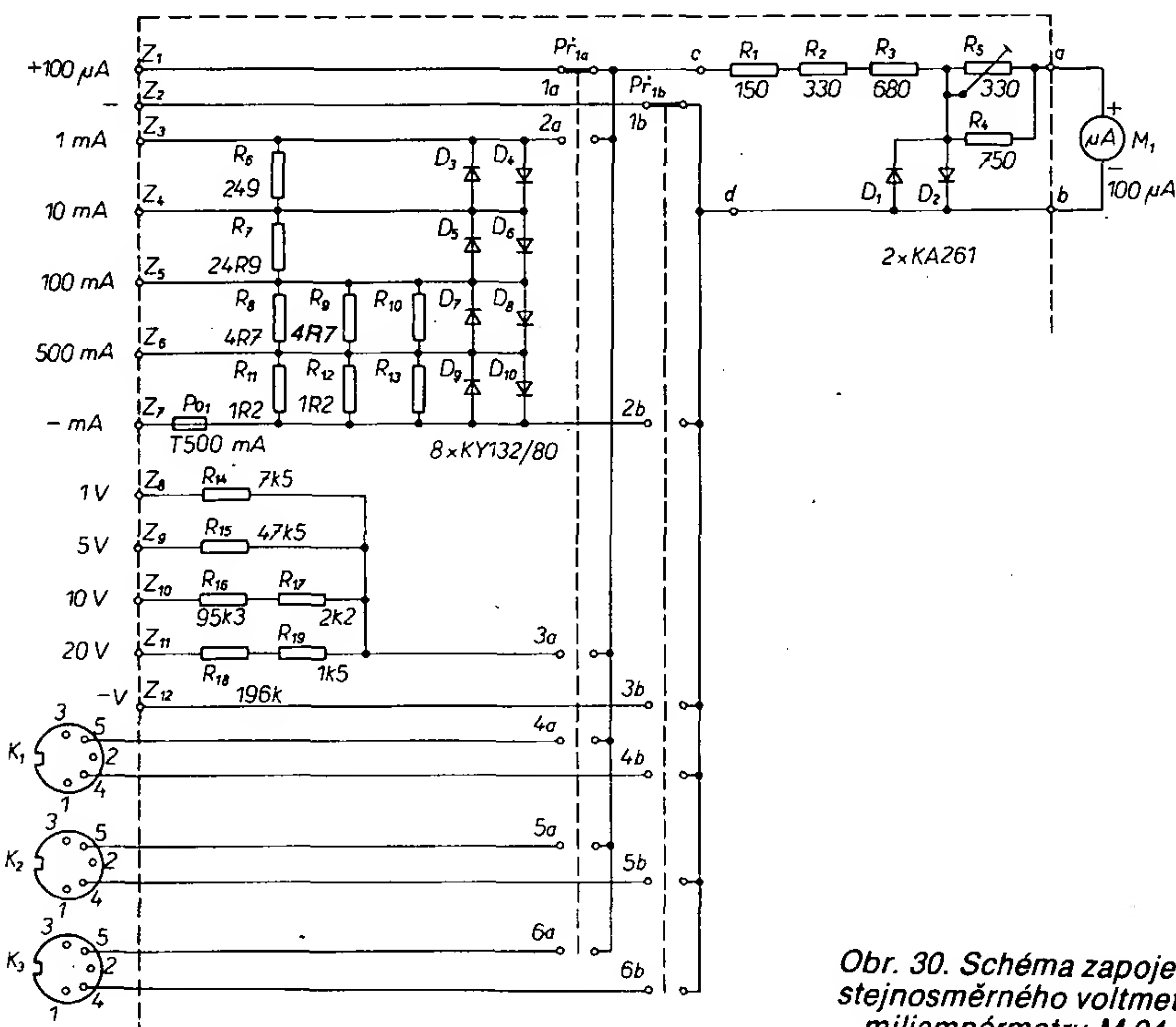
B. Nastavení s jinými přístroji

Máme-li k dispozici měřicí přístroje (voltmetr, ampérmetr) třídy přesnosti alespoň 1,5 %, postupujeme takto:
a) Spojíme vstup „1 V" modulu M 04 se vstupem kalibračního voltmetru V_k a přivedeme na ně napětí z regulovatelného zdroje nebo z obvodu podle obr. 34.



Obr. 34. Zapojení pro nastavování s kontrolním voltmetrem

b) Podle kalibračního voltmetru nastavíme napětí 1 V.
c) Trimrem R_5 nastavíme plnou výchylku ručky 100 dílků. Nestačí-li rozsah trimru, přemostíme R_1 až R_3 postupem popsaným dříve v A–d).
d) Pro nastavení proudových rozsahů sestavíme zapojení podle obr. 35. Nejdříve zapojíme proudový rozsah 500 mA.
e) Nastavíme proud 500 mA a za R_{13} z trojice rezistorů 5,6, 6,8 a 10 Ω vybereme ten, při němž je odchylka údaje ampér-



Obr. 30. Schéma zapojení stejnosměrného voltmetru – miliampérmetru M 04

Obr. 31. Deska s plošnými spoji S 220 stejnosměrného voltmetru – miliampérmetru M 04

Obr. 32. Rozložení součástek stejnosměrného voltmetru – miliampérmetru M 04 na desce S 220

Obr. 35. Zapojení pro nastavení proudových rozsahů

metru M 04 a kalibračního ampérmetru A_K nejmenší.

f) Zopakujeme stejný postup pro rozsah 100 mA, vhodný odpor rezistoru R_{10} přitom vybereme z trojice 27, 39 a 82 Ω.

Použití

Modul používáme jako univerzální měřicí přístroj při práci s pokusnými obvody, při opravách, kontrolách, samostatně nebo v součinnosti s jinými moduly.

Výhodou je galvanické oddělení vstupů při měření napětí a proudu i galvanické oddělení vstupů pro součinnost, takže přístroj lze nezávisle připojit do několika bodů (obvodů). Pouhým přepínáním Př tak můžeme pohotově měřit až 6 nezávislých proudů a napětí.

Obvody jsou chráněny, vstupy K_1 až K_3 a vstup 100 μA však nedoporučujeme dlouhodobě přetěžovat. Povolené trvalé přetížení je závislé na tom, které z rezistorů R_1 až R_3 nejsou přemostěny. Pro nepřemostěné R_1 nebo R_2 je povoleno trvalé zatížení vstupním napětím 12 V, pro R_3 nebo $R_1 + R_2$ minimálně 18 V, pro další kombinace 24 V.

Pojistka chránící bočníky je typu T (zpožděná). To značí, že odolává krátkodobému přetížení, např. proudovému nárazu při nabíjení blokovacích elektrolytických kondenzátorů při zapnutí. Při velkých proudech (zkraty) se přeruší dostatečně rychle, takže diody D_3 až D_{10} krátkodobé přetížení nepoškodí.

Při měření napětí nezapomínáme na vnitřní odpor voltmetru – 10 kΩ/V, který zatěžuje měřený obvod. Znamená to, že na rozsahu 1 V je mezi svorkami voltmetru odpor 10 kΩ, na rozsahu 20 V 200 kΩ. Vždy je třeba uvážit vliv tohoto odporu na poměry v měřeném obvodu.

Seznam součástek

Rezistory

R_1	150 Ω, MLT 1, 150/J
R_2	330 Ω, MLT 0,5, 330/J
R_3	680 Ω, MLT 0,5, 680/J
R_4	750 Ω, TR 213, 750/J
R_6	249 Ω, TR 192, 249/F
R_7	24,9 Ω, TR 192, 24R9/F
R_8, R_9	4,7 Ω, TR 192, 4R7/J
R_{10}	82 Ω, 39 Ω, 27 Ω viz text; TR 213, 5 %
R_{11}, R_{12}	1,2 Ω
R_{13}	10 Ω, 6,8 Ω, 5,6 Ω viz text; TR 213, 5 %
R_{14}	7,5 kΩ
R_{15}	4,7 kΩ, TR 192 (TR191), 1 %
R_{16}	95,3 kΩ
R_{17}	2,2 kΩ, TR 213 (TR 191), 2K2/J
R_{18}	196 kΩ, TR 192 (TR 191), 196K/F
R_{19}	1,5 kΩ, TR 213, 1K5/K
R_5	330 Ω, TP 011 (TP 040)

Tolerance odporu označena podle normy takto: J = 5 %, F = 1 %, K = 10 %.

Polovodičové součástky

D_1, D_2	KA221
D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}	KY132/80

Ostatní konstrukční prvky

Měřidlo MP40, 100 μA; 2,5 %; R_i = 1800 Ω ±25 %
Pojistková vložka T 500 mA
Miniaturní zdířka 6AF 280 30, 12 ks
Miniaturní otočný přepínač WK 533 36
Přístrojový knoflík WK 243 91
Kontakty držáku pojistky, 2 ks
5pólová pevná zásuvka 6 AF 282 10 (6 AF 282 11), 3 ks

Hotový modul M04

Můstek *RC* M 08

Mezi základní potřeby při práci s elektronickými obvody patří možnost kontrolovat použité součástky. Ty mohou měnit své parametry s časem, může se stát, že se setře jejich označení nebo označení neodpovídá skutečné hodnotě. Předběžným měřením před stavbou zařízení ušetříme mnoho času, který bychom jinak potřebovali při pozdějším pracném a zdlouhavém vyhledávání závady, způsobené právě vadnou součástkou nebo součástkou s nesprávnou hodnotou. Při přeměřování obvykle nevyžadujeme extrémní přesnost, dáme přednost spíše pohotovému a snadnému měření.

Někdy je výhodné mít možnost vyhledat součástky co nejshodnější velikosti – mít možnost je „párovat".

Modul M 08 je jednoduchý můstek *RC* pro měření odporu a kapacity v rozsazích 10 Ω až 10 MΩ a 10 pF až 10 μF. Pracuje s vnitřním generátorem a vnějším indikátorem. Jako indikátor vyvážení můstku mohou sloužit sluchátka, modul M 05 a M 06 (sledovač signálu s reproduktorem) nebo milivoltmetr. Můstek pracuje v širokém rozsahu napájecího napětí (7,5 až 15 V) s malým odběrem proudu ze zdroje. Modul se dá dále použít jako zdroj nízkofrekvenčního signálu. V případě potřeby jsou také na svorkách přístupny vestavěné etalonové rezistory 100 Ω, 10 kΩ a 1 MΩ.

Základní technické údaje

Měření odporu

Rozsah měření na svorkách R_x: 10 Ω až 10 MΩ.
Měřicí rozsahy: 10 Ω až 1 kΩ, 1 kΩ až 100 kΩ, 100 kΩ až 10 MΩ.
Chyba měření: menší než 15 % pro R_x menší nebo rovno 1 MΩ, pro R_x větší než 1 MΩ má měření orientační charakter.

Měření kapacity

Rozsah měření na svorkách C_x: 10 pF až 10 μF.
Měřicí rozsahy: 10 až 1000 pF, 1 až 100 nF, 0,1 až 10 μF.
Chyba měření: menší než 15 % pro C_x větší nebo rovno 100 pF, pro C_x menší než 100 pF má měření orientační charakter.

Použití jako zdroj signálu

Kmitočet výstupního signálu: asi 1 kHz.
Výstupní svorky: Z_4, Z_5.
Přepínač nastaven na nejnižší rozsah měření odporu.
Výstupní napětí v omezeném rozsahu řiditelné potenciometrem vyvážení.

Napájecí napětí U_B: 7,5 až 15 V.
Odběr z napájecího zdroje při U_B = 9 V: menší než 20 mA.
Doporučený indikátor vyvážení: sluchátko o impedanci 50 Ω až 4 kΩ, sledovač signálu s reproduktorem (M 05 a M 06), nízkofrekvenční milivoltmetr.

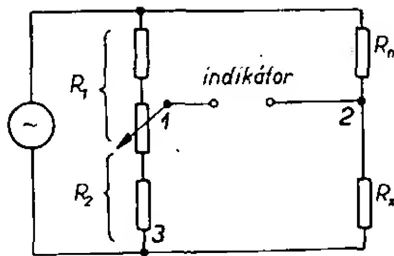
Použití jako sada etalonových rezistorů

Modul odpojen od zdroje, na svorkách Z_1, Z_2 jsou přístupné rezistory:

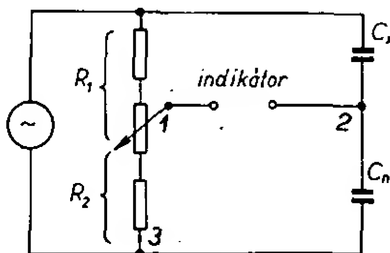
poloha přepínače rozsahů	rezistor o odporu
10 Ω - 1 kΩ	100 Ω ±1 %
1 kΩ - 100 kΩ	10 kΩ ±1 %
100 kΩ - 10 MΩ	1 MΩ ±1%

Popis zapojení

Modul M 08 pracuje při měření odporu na principu Wheatstoneova můstku. Za-



Obr. 36. Princip můstkových měření R_x



Obr. 37. Princip můstkových měření C_x

pojení můstku je na obr. 36. Přivedeme-li na můstek složený z rezistorů R_1, R_2, R_n a neznámého rezistoru R_x střídavé napětí z generátoru, lze změnou odporu rezistorů R_1, R_2, R_n (tzv. vyvažováním) dosáhnout stavu, kdy mezi body *1* a *3* a body *2* a *3* bude stejné napětí, v úhlopříčce můstku mezi body *1* a *2* bude tedy nulové napětí. Ve vyváženém stavu platí pro R_x

$$R_x = R_n\,(R_2/R_1).$$

Můstek pro měření kapacity je zapojen podobně (viz obr. 37), ale rameno s R_n a R_x je nahrazeno C_n a C_x. Ve vyváženém stavu, kdy je napětí mezi body *1* a *2* nulové, platí pro neznámý kondenzátor C_x

$$C_x = C_n\,(R_2/R_1).$$

Z obou vztahů je vidět, že můstek lze vyvažovat volbou poměru R_2/R_1 a rozsahy měření přepínat zařazováním vhodných *etalonových rezistorů R_n nebo kondenzátorů C_n*. Jako indikátor vyvážení mohou sloužit sluchátka nebo sledovač s reproduktorem (M 05 a M 06). Použité „reálné" součásti mají vždy i některé další vlastnosti, které nejsou na obr. 36 a 37 uvažovány. Rezistory mají parazitní kapacity, kondenzátory ztrátový odpor. Aby bylo možno jakostní můstky *RC* přesně vyvážit, musí mít další vyvažovací prvek pro vyvážení tzv. ztrátové složky. Pro naše použití by to však znamenalo zbytečnou komplikaci. Proto v některých případech nebude při vyvážení můstku signál nulový, ale pouze minimální. Nastavitelnost poměru R_2/R_1 určuje rozmezí měřitelných hodnot v jednom rozsahu. Pro M 08 bylo zvoleno vyvážení v rozsahu dvou dekád jako kompromis mezi vlastnostmi a cenou modulu. Vyvažování v rozsahu jedné dekády by znamenalo zvětšit počet použitých přesných etanolových rezistorů a kondenzátorů o 6 kusů a složitější přepínač.

Celkové zapojení můstku *RC* (M 08) je na obr. 38. Můstek je tvořen přepínatelnými normálovými rezistory R_8, R_9 a R_{10}, normálovými kondenzátory C_8, C_9 a C_{10}, vyvažovacím potenciometrem R_{12} a odporovými trimry R_{11} a R_{13}, které vymezují rozsah vyvažování na dvě dekády. Můstek je napájen z generátoru s tranzistorem T_1 přes oddělovací stupeň (T_2) a oddělovací transformátor Tr_1. To umožní uzemnit jeden bod uhlopříčky můstku a doplnit jeho výstup emitorovým sledovačem (T_3). Zapojení generátoru s tranzistorem T_1 je běžného typu s fázovacím článkem *RC* (C_2, C_3, C_4, R_1, R_2). Poskytuje harmonický signál s kmitočtem přibližně 1 kHz, který přivádíme přes oddělovací stupeň s T_2 a transformátor na vlastní můstek *RC*. Napětí pro bázi T_1 je stabilizováno obvodem R_5, D_1, D_2.

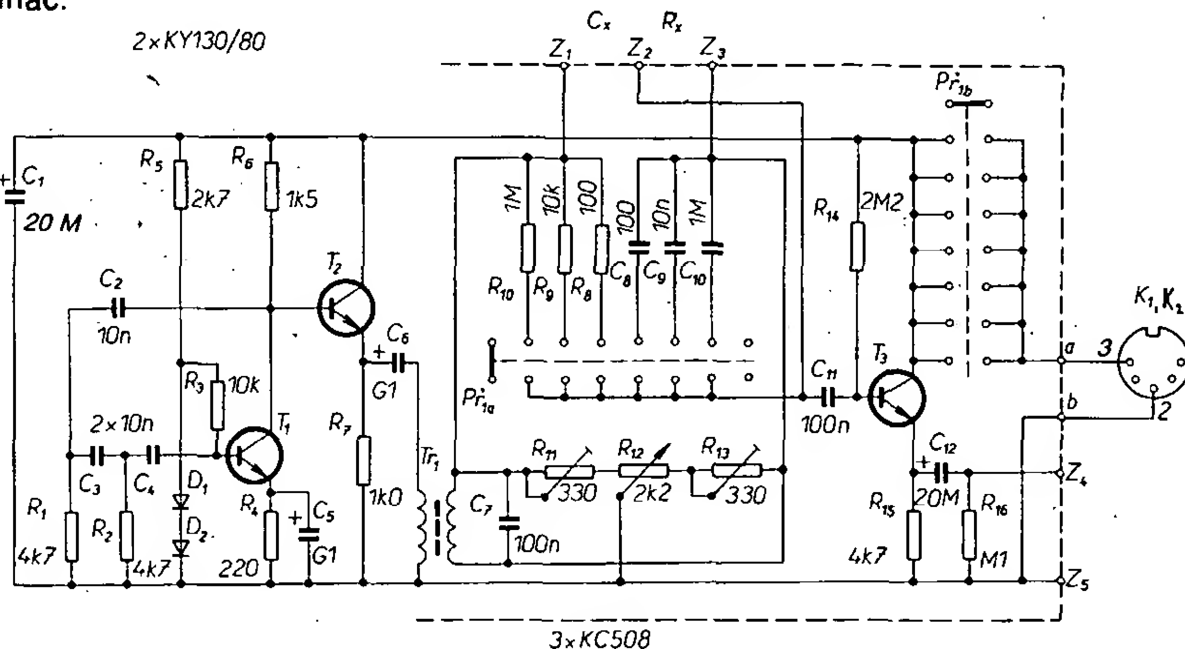
Montáž a oživení

Můstek RC M 08 je na desce s plošnými spoji podle obr. 39. Před osazováním součástek pečlivě zkontrolujeme prosvětlením kvalitu odleptání desky, nejsou-li mezi jednotlivými spoji vodivé můstky a zkraty nebo není-li fólie někde přerušena či odtržena od základního materiálu. Je výhodné, máme-li možnost před osazováním součástky přeměřit (např. v zájmovém kroužku, ve škole, případně vypůjčeným přístrojem). Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je na obr. 40. Na desce jsou umístěny všechny součástky. Transformátor Tr_1 je k desce uchycen šroubkem M3 × 15 s maticí. Pozor při utahování, feritový hrníček snadno praskne, nezapomeňte pod hrníček podložit pružnou podložku (např. molitanové kolečko). Vyvažovací potenciometr R_{12} je na desce umístěn tak, že jeho hřídel, který jsme zkrátili na délku 20 mm, je na straně měděné fólie.

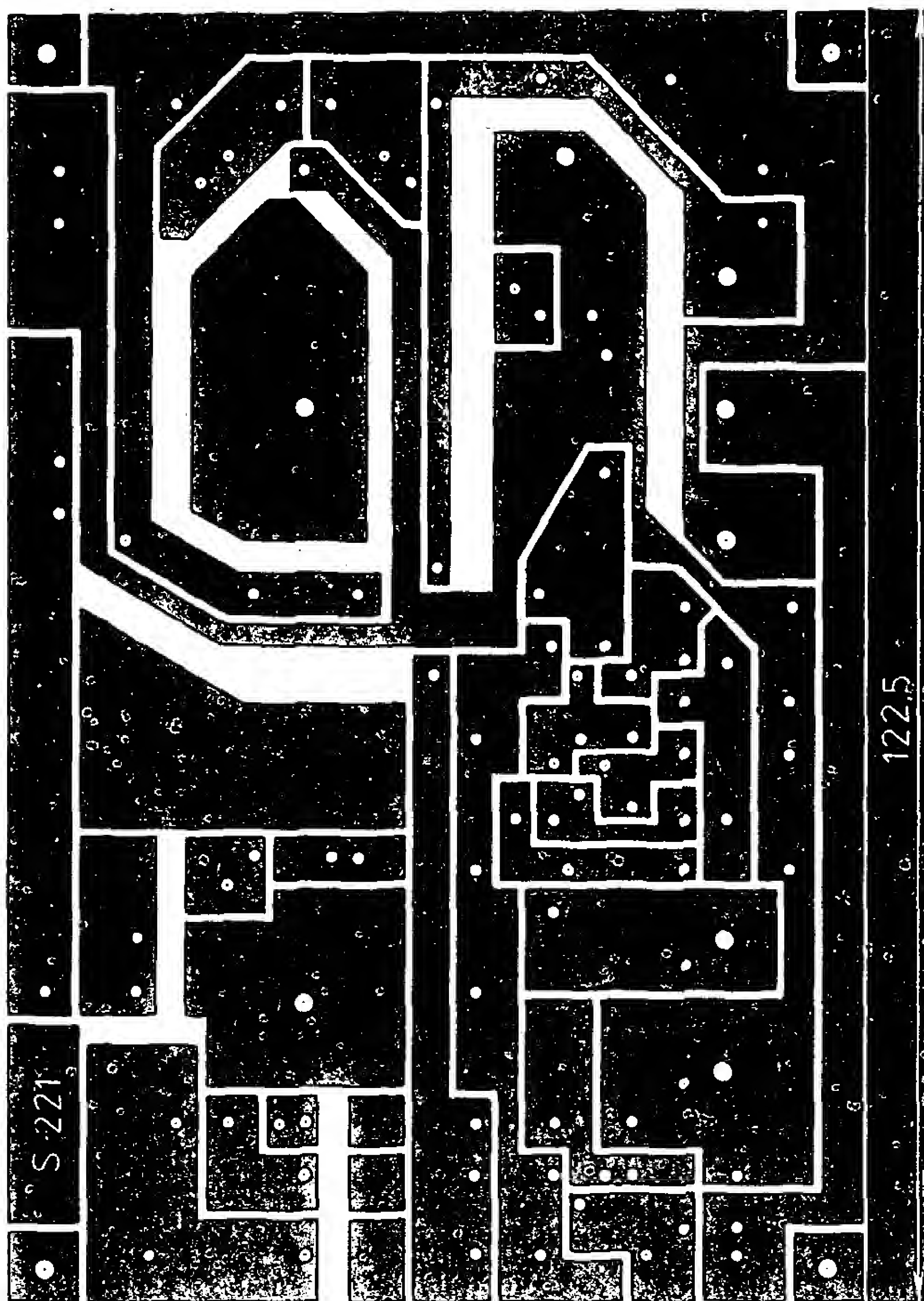
S plošnými spoji je propojen drátovými spojkami. Obdobně uchytíme na desce i otočný přepínač. I jeho vývody propojíme s plošnými spoji drátovými spojkami.

Osazenou desku s plošnými spoji pečlivě zkontrolujeme podle obr. 38. Je-li vše v pořádku, můstek oživíme a nastavíme. Na můstek připojíme přes ampérmetr co nejmenší napájecí napětí. Máme-li k dispozici regulovatelný zdroj, nastavíme jeho výstupní napětí na nejmenší velikost. Nemáme-li přístroje k dispozici, můžeme si pomoci náhradní metodou – můstek připojíme přes žárovku 3,5 V/0,3 A k jedné ploché baterii 4,5 V.

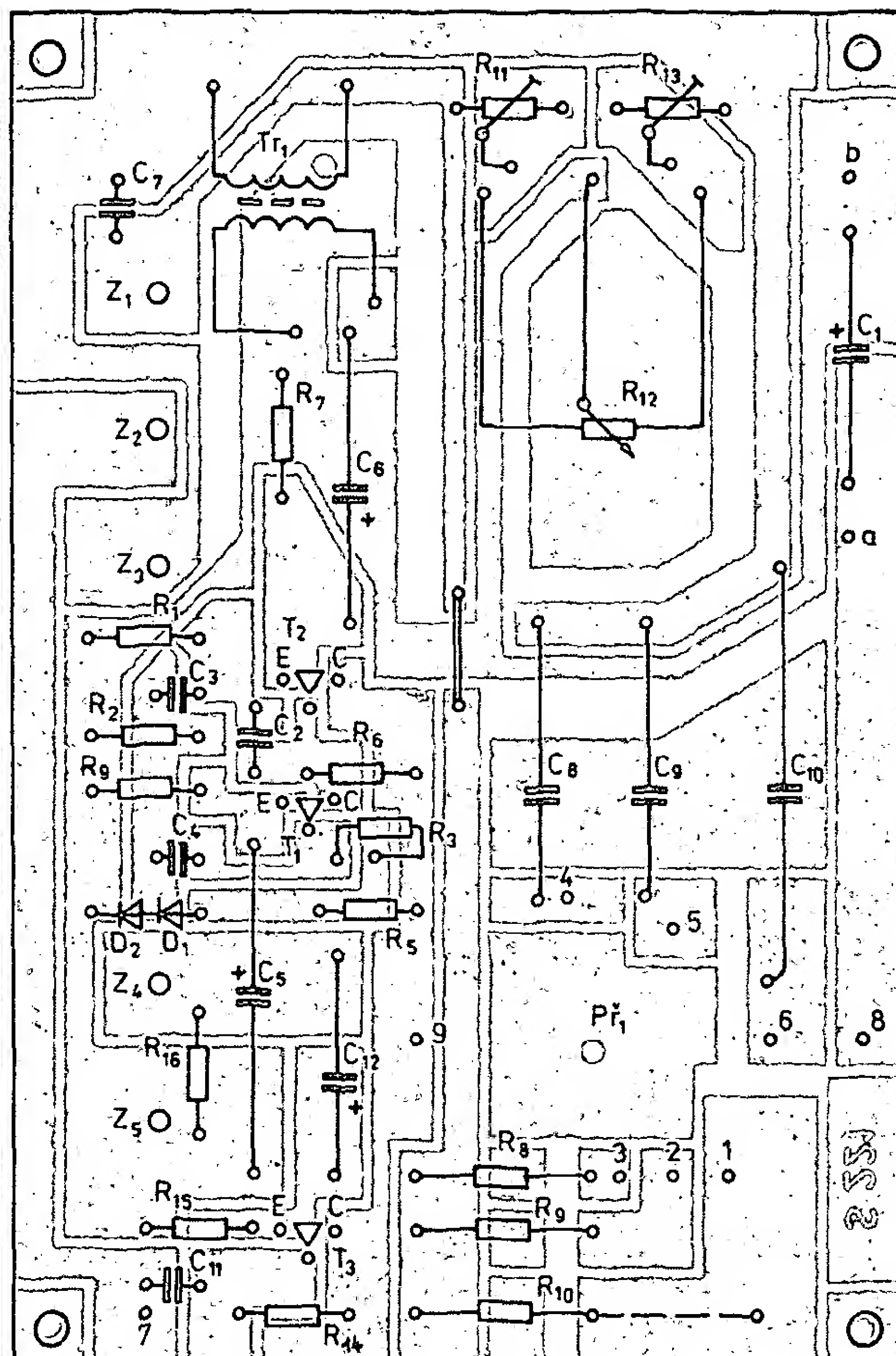
Můstek zapneme přepínačem $Př_1$. Pomalu zvětšujeme napájecí napětí a sledujeme odebíraný proud. Pokud se proud nadměrně zvětšuje (při náhradní metodě



Obr. 38. Schéma zapojení M 08



Obr. 39. *Deska s plošnými spoji C 221 můstku RC M 08*



Obr. 40. *Rozložení součástek můstku RC M 08 na desce S 221*

vlákno žárovky svítí), můstek od zdroje odpojíme. V zapojení bude pravděpodobně chyba (zkrat v přívodu napájení, kapka cínu mezi plošnými spoji apod.).

Odběr můstku při napájení 9 V je menší než 20 mA.

Dále ověříme činnost generátoru. Připojíme sluchátka mezi záporný pól kondenzátoru C_6 a záporný pól napájecího zdroje. Ze sluchátka budeme slyšet signál generátoru o kmitočtu asi 1 kHz. Pokud generátor nepracuje, zkontrolujeme napětí v jednotlivých bodech zapojení. Naměřená napětí by se neměla příliš lišit od napětí uvedených ve schématu zapojení (obr. 38). Případná větší odchylka napoví, kde je v zapojení chyba.

Do zdířek Z_1, Z_3 připojíme sluchátka a zkontrolujeme, zda je střídavý signál přiveden na vlastní můstek. Nakonec připojíme sluchátka do zdířek Z_4 a Z_5 a zdířky pro měření R_x (Z_2 a Z_3) zkratujeme drátovou spojkou. Ze sluchátek bude slyšet tón, jehož hlasitost lze měnit vyvažovacím potenciometrem R_{12}, stejně tomu musí být i při vzájemném spojení zdířek Z_1 a Z_2.

Nyní přistoupíme k vlastnímu nastavení můstku. Naším úkolem bude vymezit trimry R_{11} a R_{13} rozsah vyvažování na dvě dekády (1–10–100) a sesouhlasit tak stupnici na štítku. K tomuto účelu si opatříme rezistory, jejichž odpory odpovídají koncovým hodnotám rozsahu. Doporučujeme 1 kΩ a 100 kΩ v toleranci alespoň 1 %. Je možné použít i změřené kusy z rezistorů s širší tolerancí. Přepínač rozsahů $Př_1$ přepneme do polohy měření odporu 1 kΩ až 100 kΩ. Do zdířek Z_4 a Z_5 připojíme sluchátka nebo sledovač signálu s reproduktorem a do zdířek pro R_x (Z_2 a Z_3) připojíme rezistor 1 kΩ. Trimry R_{11} a R_{13} nastavíme na střední odpor. Můstek vyvažujeme potenciometrem R_{12} na minimum výstupního signálu ve sluchátkách a trimrem R_{13} se snažíme dosáhnout toho, aby minimum výstupního signálu odpovídalo značce 1 na stupnici můstku. Stejným způsobem sesouhlasíme i vyvážení při R_x = 100 kΩ na značce 100 trimrem R_{11}. Uvedený postup opakujeme tak dlouho, až oba krajní body stupnice (1–100) odpovídají odporům 1 kΩ a 100 kΩ. Tím je nastavení skončeno. Uvedená stupnice bude platit i při měření na jiných rozsazích i pro měření kondenzátorů. Odchylky mohou být způsobeny především tolerancí použitých etalonových prvků.

Použití

Sestavením a oživením modulu M 08 jsme získali jednoduchý můstek *RC* pro měření odporu od 10 Ω do 10 MΩ a kapacity od 10 pF do 10 μF. Použití můstku je snadné a rychlé. Do zdířek Z_4 a Z_5 připojíme sluchátka s impedancí 50 Ω nebo větší, případně jiný doporučený indikátor vyvážení. S výhodou můžeme použít sledovač signálu M 05 s reproduktorem.

Do zdířek Z_1, Z_2 zapojujeme neznámé kondenzátory, do zdířek Z_2 a Z_3 neznámé rezistory. Na stupnici můstku vyhledáme polohu, při níž je hlasitost výstupního signálu minimální a zjistíme odpor či kapacitu měřené součástky.

Při měření kondenzátorů s kapacitou menší než asi 100 pF a rezistorů s odporem větším než asi 1 MΩ je již výstupní napětí malé a minimum je velmi ploché. Měření v těchto mezích má jen orientační charakter.

Seznam součástek

Rezistory (není-li uvedeno jinak, jde o miniaturní rezistory typu TR 212, TR 213 s tolerancí odporu ±10 %)

R_1, R_2, R_{15}	4,7 kΩ
R_3	10 kΩ
R_4	220 Ω
R_5	2,7 kΩ
R_6	1,5 kΩ
R_7	1 kΩ
R_8	100 Ω, TR 191, 100R/F
R_9	10 kΩ, TR 191, 10K/F
R_{10}	1 MΩ, TR 191, 1M0/F
R_{14}	2,2 MΩ
R_{16}	0,1 MΩ
R_{11}, R_{13}	330 Ω, trimr TP 040
R_{12}	2,2 kΩ, potenciometr WN 691 70 (drátový)

Kondenzátory

C_1, C_{12}	20 μF, TE 984
C_2, C_3, C_4	10 nF, TK 744
C_5, C_6	100 μF, TE 981
C_7, C_{11}	100 nF, TK 783
C_8	100 pF/5 %, TGL 5155 (WK 714 11)
C_9	10 nF/5 %, TGL 5155
C_{10}	1 μF/5 %, TC 215

Polovodičové součástky

D_1, D_2	KY130/80
T_1, T_2, T_3	KC508 (KC509, KC507, KC147 až 149)

Ostatní konstrukční prvky

Miniaturní otočný přepínač	WK 533 36

Miniaturní zdířka 6AF 280 30, 5 ks
5pólová pevná zásuvka 6AF 282 10 (6AF 282 11)
Přístrojový knoflík WF 243 04
Přístrojový knoflík WF 243 20
Tr_1 feritové hrníčkové jádro o Ø 18 mm, materiál H22, A_L = 2000; dvě vinutí po 100 závitech drátem o Ø 0,1 mm.

Zkoušeč polovodičových součástek M 07

Chceme-li úspěšně pracovat s diodami, tranzistory nebo operačními zesilovači, musíme bezpodmínečně znát jejich základní vlastnosti. Pro vyzkoušení však ve většině případů vystačíme s jednoduchým přístrojem umožňujícím ověřovat stav polovodičových součástek z hlediska „dobrý – vadný".

Modul M 07 je jednoduchý zkoušeč tranzistorů, operačních zesilovačů a diod. Jeho předností je jednoduché zapojení a dále to, že nepotřebuje ke své činnosti měřicí přístroj. Zkoušený polovodičový prvek se zasouvá podle typu do příslušné objímky. U tranzistorů a operačních zesilovačů indikuje blikání svítivé diody stav „dobrý", trvalý svit stav „vadný". U diod zjišťujeme podle svitu nebo zhasnutí svítivé diody stav „nevede – vede".

Modul pracuje v širokém rozsahu napájecího napětí (7 až 15 V) a díky malému odběru ze zdroje jej lze s výhodou napájet i z baterie 9 V.

Základní technické údaje

Testované polovodičové prvky:
a) diody (povolený proud v propustném směru min. 15 mA, závěrné napětí min. 2,5 V,
b) svítivé diody (povolený proud v propustném směru min. 15 mA, prahové napětí menší než 1,8 V),
c) tranzistory bipolární malého výkonu n-p-n a p-n-p (zesilovací činitel $h_{21E} \geqq 10$, zbytkový proud $I_{CE0} \leqq 1$ mA),
d) operační zesilovače v pouzdře s drátovými vývody, například MAA501, 502, 504, MAA741, 748 apod. s vývody: *2* vstup –; *3* vstup +; *4* napájení –; *6* výstup; *7* napájení +.

Způsob testování: diody – kontrola propustného a závěrného směru, tranzistory a operační zesilovače – kontrola funkčnosti v obvodu astabilního generátoru.
Napájecí napětí: 7 až 15 V.
Odběr ze zdroje: max. 25 mA (při rozsvícení indikační svítivé diody).
Osazení: 3 tranzistory, 8 diod.

Popis zapojení

Zapojení univerzálního zkoušeče (testeru) polovodičových součástek je na obr. 41. Zapojení lze rozdělit na čtyři části: generátor se zkoušeným operačním zesilovačem IO_1, multivibrátory s tranzistory T_1, T_2 pro typ n-p-n a s tranzistory T_3, T_4 pro typ p-n-p a zesilovač – proudový zdroj T_5 s indikační svítivou diodou D_7.

Operační zesilovač zkoušíme po zasunutí do příslušné objímky ve funkci komparátoru napětí. Kondenzátory C_1, C_2 se napětím z výstupu *6* operačního zesilovače nabíjejí přes rezistor R_1 tak dlouho, až bude překročena komparační úroveň napětí, určená děličem R_2 a R_4. V tomto okamžiku se u dobrého operačního zesilovače změní (překlopí) výstupní napětí a kondenzátory C_1, C_2 se začnou vybíjet (vlastně nabíjet na opačnou polaritu) na napětí, dané opět děličem R_2, R_4, výstupní napětí se opět změní (překlopí) a celý děj se bude opakovat. Bude-li operační zesilovač funkční, pak svítivá dioda D_7 bude blikat, naopak její trvalý svit bude znamenat, že operační zesilovač je vadný.

Obdobně zkoušíme i bipolární tranzistory. Zkoušený tranzistor se podle typu (n-p-n, p-n-p) zasune do příslušné objímky (T_1 nebo T_3). Spolu s vestavěnými součástkami se tak vytvoří multivibrátor s nízkým kmitočtem. Jeho výstupní signál je výkonově zesílen tranzistorem T5 a přiveden na indikační svítivou diodu D_7. Zapojení zajišťuje zachování konstantního proudu diodou v širokém rozsahu napájecích napětí. Přerušovaný svit (blikání) diody D_7 bude opět znamenat, že je zkoušený tranzistor dobrý, naopak její trvalý svit znamená, že tranzistor je vadný. Při chybném zapojení zkoušeného tranzistoru do objímky pro druhý typ, brání diody D_1 a D_2 tomu, aby zkoušený tranzistor pracoval v inverzním režimu.

Diody zkoušíme způsobem „vede – nevede" paralelním připojením ke svítivé diodě D_7 a rezistoru R_{10} přes rezistor R_{11}. Vede-li zkoušená dioda, indikační svítivá dioda zhasne, nevede-li dioda, indikační dioda svítí trvale. Obdobně kontrolujeme i svítivé diody, u nichž navíc sledujeme svit v jedné z poloh.

Dioda D_8 chrání modul zkoušeče polovodičových součástek při chybném zapojení polarity napájecího napětí. Zasunout zkoušený prvek do objímky bez napájecího napětí a šetřit odběr ze zdroje umožňuje tlačítko Tl_1, kterým modul připojujeme ke zdroji jen při zkoušení již zapojeného prvku.

Montáž a oživení

Zkoušeč polovodičových součástek je postaven na desce s plošnými spoji podle obr. 42. Před vlastním osazováním desky součástkami nejdříve prosvětlením zkontrolujeme kvalitu odleptání mezer (nezůstaly-li mezi vodivými cestami vodivé můstky a zkraty) a není-li fólie přerušena nebo odtržena od základního materiálu. Všechny součástky je vhodné před osazením desky alespoň orientačně změřit. Předejdeme tak pozdějším těžkostem při oživování.

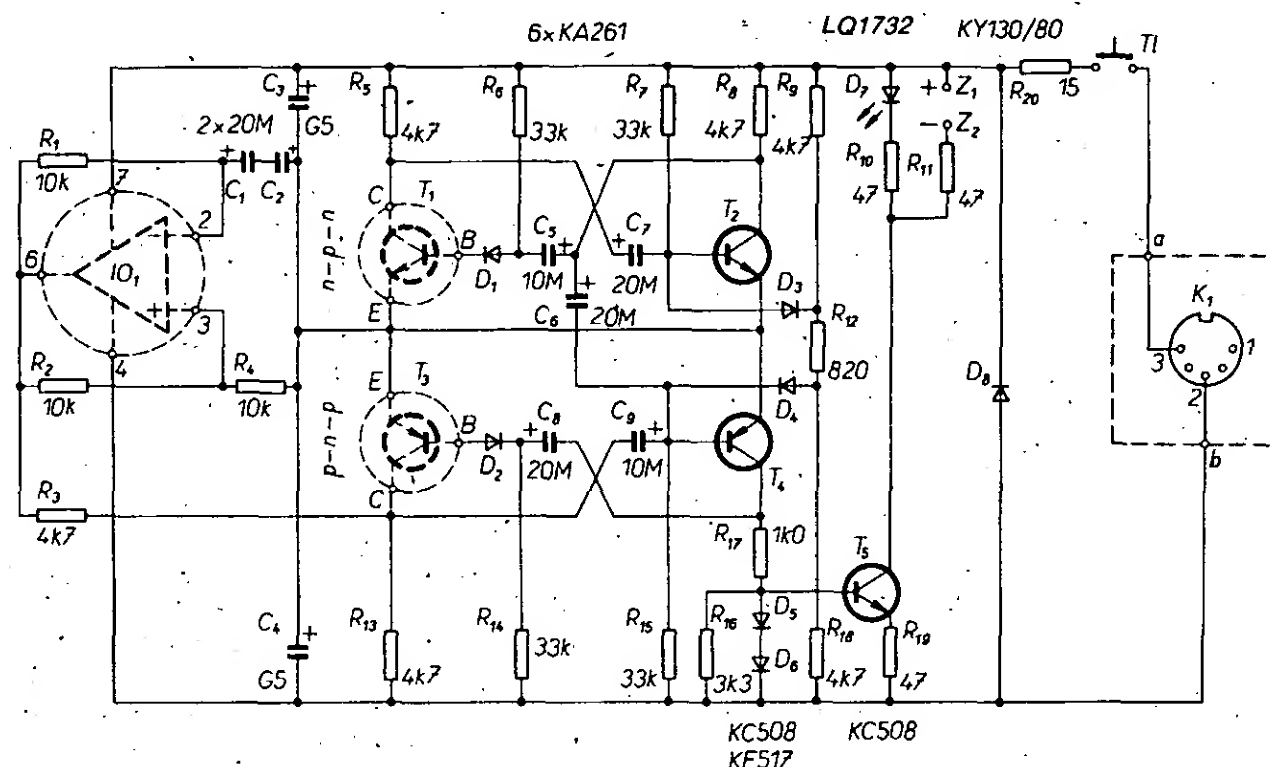
Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je na obr. 43. Na desce jsou umístěny všechny součástky, svítivá dioda D_7 je pájena ze strany plošných spojů. Ze strany plošných spojů jsou připájeny i objímky pro oba typy tranzistorů a pro operační zesilovač, avšak vývody objímek jsou prodlouženy např. drátem na pájecí smyčky tak, aby čelo objímek bylo v úrovni štítku modulu. Ze strany plošných spojů je rovněž připájeno tlačítko Tl_1. Je zhotoveno natvarováním páskového přívodu ploché baterie a opatřeno hmatníkem z izolační hmoty podle obr. 44.

Osazenou desku pečlivě zkontrolujeme podle schématu zapojení (obr. 41) a je-li vše v pořádku, začneme „tester" oživovat – připojíme přes ampérmetr co nejmenší napájecí napětí. Máme-li k dispozici regulovatelný napájecí zdroj, nastavíme jeho výstupní napětí na nulu. Stiskneme tlačítko Tl_1, postupně zvětšujeme výstupní napětí zdroje a pozorně sledujeme odebíraný proud. V nouzi lze proud hrubě odhadovat podle jasu jejího vlákna. Nemáme-li k dispozici regulovatelný napájecí zdroj, použijeme na začátku oživování plochou baterii v sérii se žárovkou 3,5 V/0,3 A.

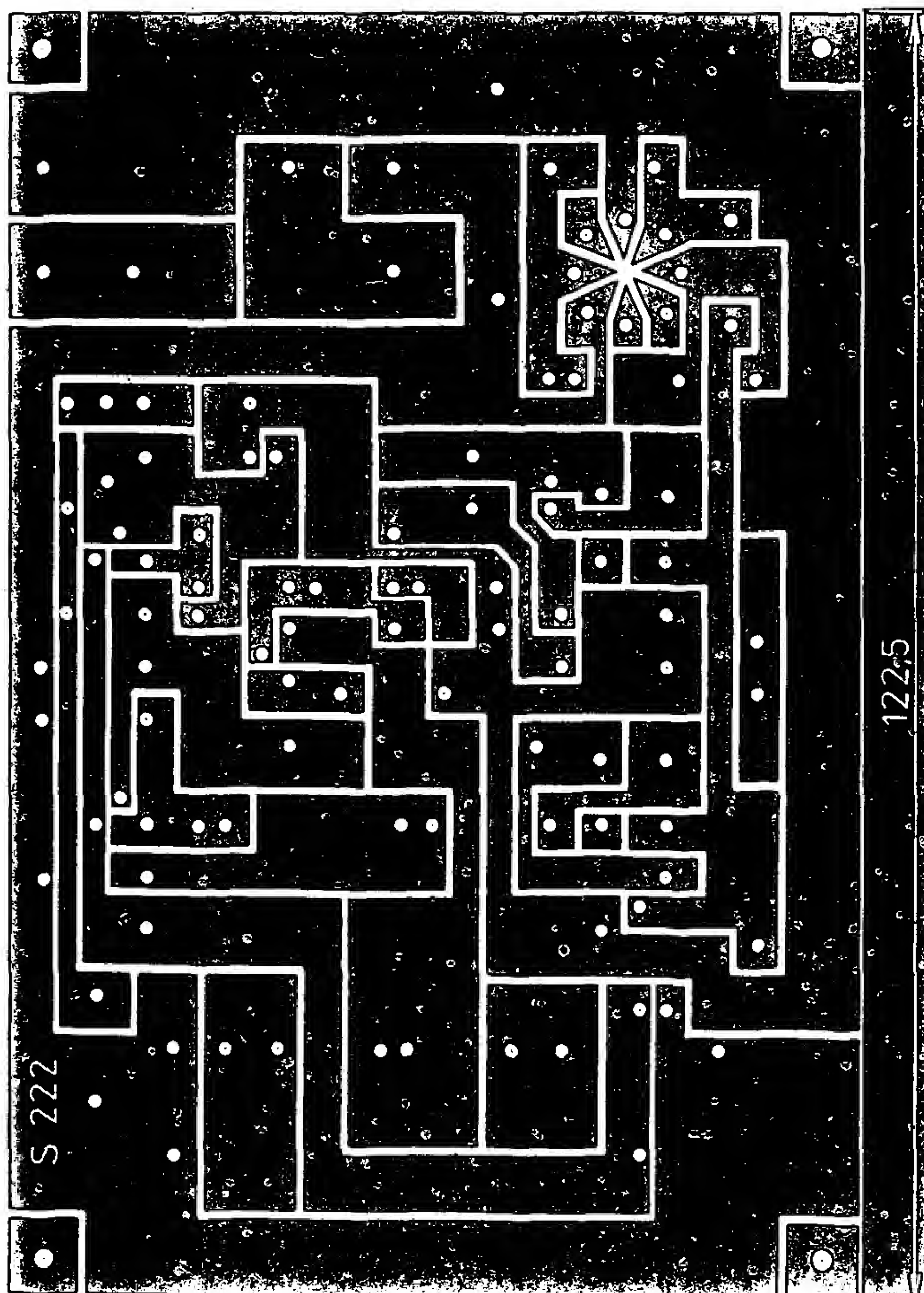
Zvětšuje-li se nadměrně odebíraný proud (vlákno žárovky svítí), uvolníme tlačítko Tl_1 a odpojíme zkoušeč od napájecího zdroje. V tomto případě bude závada v zapojení (zkrat v přívodu napájení, kapka cínu mezi vodivými cestami plošného spoje, nesprávně osazená součástka, apod.). Nepřekročí-li odebíraný proud při plném napájecím napětí asi 25 až 30 mA a svítí-li svítivá dioda D_7, je zapojení v pořádku a můžeme jeho správnou funkci ověřit. Do zdířek Z_1 a Z_2 připojíme zaručeně dobrou diodu tak, že její katoda bude ve zdířce Z_1, anoda ve zdířce Z_2. Po stisknutí tlačítka Tl_1 nebude svítivá dioda D_7 svítit, zatímco po přepólování měřené diody se rozsvítí. To odpovídá stavům „vede–nevede". Diodu odpojíme a do objímky pro tranzistory p-n-p zasuneme dobrý tranzistor (například KF517). Po stisknutí tlačítka začne svítivá dioda D_7 přerušovaně svítit (blikat). Stejně ověříme činnost zkoušeče i s dobrým tranzistorem typu n-p-n a s dobrým operačním zesilovačem. I v těchto případech bude dioda D_7 blikat a tím bude indikovat, že zapojený prvek je funkční.

Použití

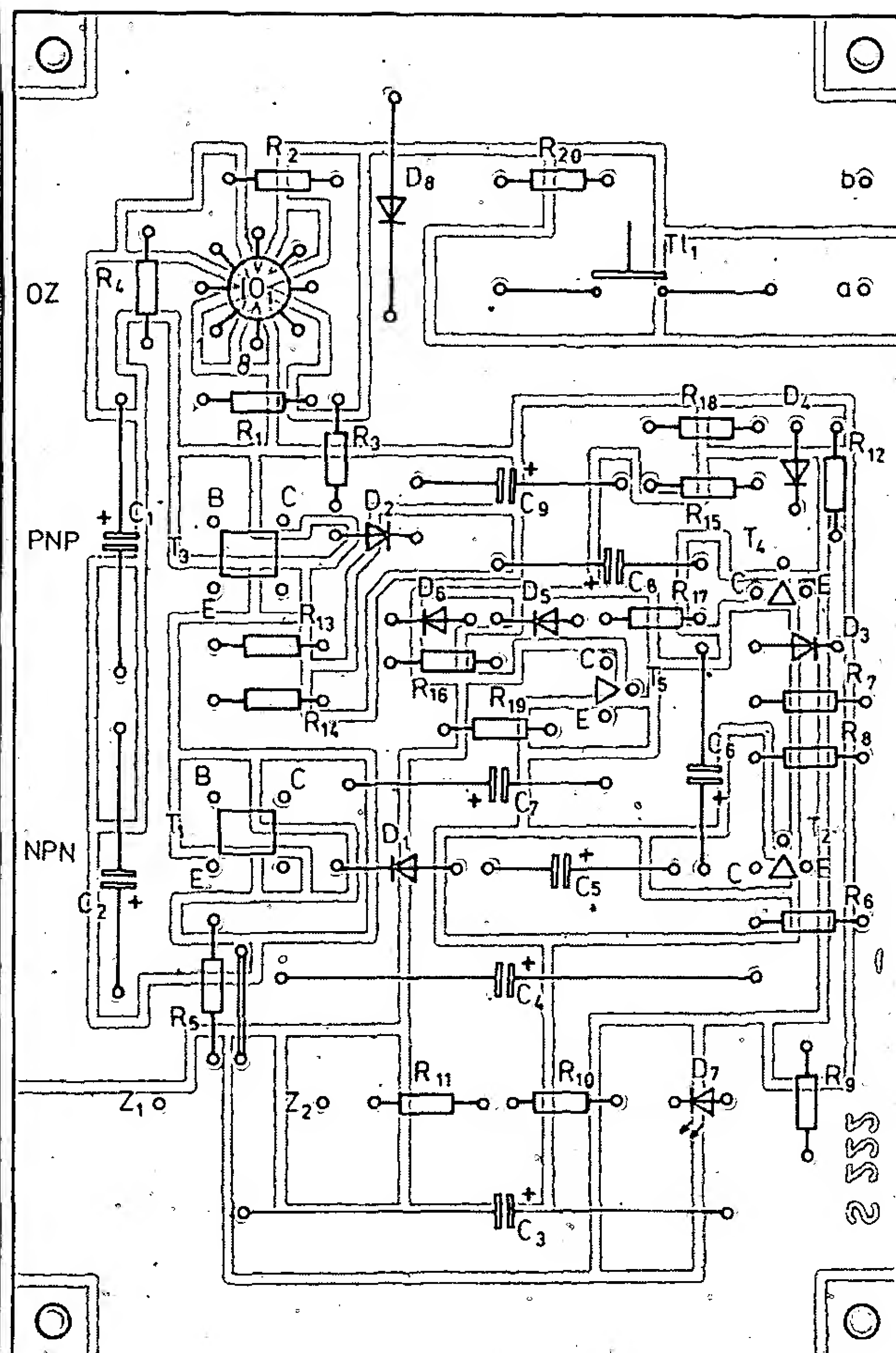
Modul univerzálního zkoušeče diod, bipolárních tranzistorů a operačních zesilovačů s výhodou použijeme všude tam,



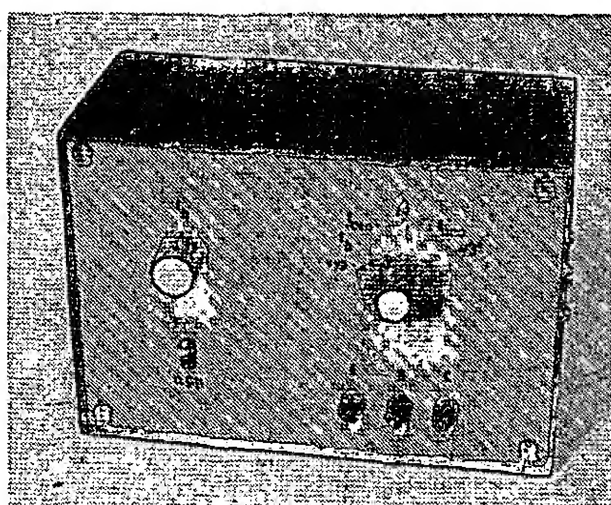
Obr. 41. Schéma zapojení zkoušeče polovodičových součástek M 07



Obr. 42. Deska s plošnými spoji S 222 zkoušeče polovodičových součástek M 07



Obr. 43. Rozložení součástek zkoušeče polovodičových součástek M 07 na desce S 222



Hotový modul M07 (jiná verze)

kde nepotřebujeme přesně měřit parametry polovodičové součástky, kde postačí ověřit, je-li zkoušený prvek dobrý nebo vadný. Modul najde uplatnění jak při zkoušení součástek před jejich osazením do desky s plošnými spoji, zejména pro prvky opakovaně použité, tak i při ověřování funkčnosti během oprav zařízení.

Vlastní zkoušení je velmi jednoduché. Zkoušenou součástku zasuneme podle typu do jedné ze tří objímek nebo do zdířek Z_1 a Z_2 (diody) a stiskneme tlačítko Tl_1. Zkoušíme-li tranzistory nebo operační zesilovače, pak blikání diody znamená, že je polovodičová součástka dobrá, svítí-li dioda D_7 trvalým svitem, je součástka vadná. Nestejná perioda blikání znamená závadu. Diody zkoušíme v samostatných zdířkách v propustném a nepropustném směru. V prvním případě po stisknutí tlačítka svítivá dioda D_7 nesvítí, při zapojení diody v nepropustném směru dioda D_7 svítí. Svítí-li indikační svítivá dioda v obou případech, je zkoušená dioda přerušena, nesvítí-li indikační svítivá dioda v obou případech, má zkoušená dioda zkrat. Obdobně lze zkoušet ve zdířkách Z_1, Z_2 svítivé diody.

Zdířky Z_1 a Z_2 můžeme použít také jako zkoušečku propojení. Bude-li odpor mezi zkoušenými body menší než asi 60 Ω, svítivá dioda zhasne.

Seznam součástek

Rezistory (TR 213 s tolerancemi odporu 10 % nebo jiné miniaturní rezistory)

R_1, R_2, R_4	10 kΩ
R_3, R_5, R_8, R_9 R_{13}, R_{18}	4,7 kΩ
R_6, R_7, R_{14}, R_{15}	33 kΩ
R_{10}, R_{11}, R_{19}	47 Ω
R_{12}	820 Ω
R_{16}	3,3 kΩ
R_{17}	1 kΩ
R_{20}	15 Ω

Kondenzátory

C_1, C_2, C_6, C_7, C_8	20 μF, TE 984
C_3, C_4	500 μF, TE 984
C_5, C_9	10 μF, TE 984

Polovodičové součástky

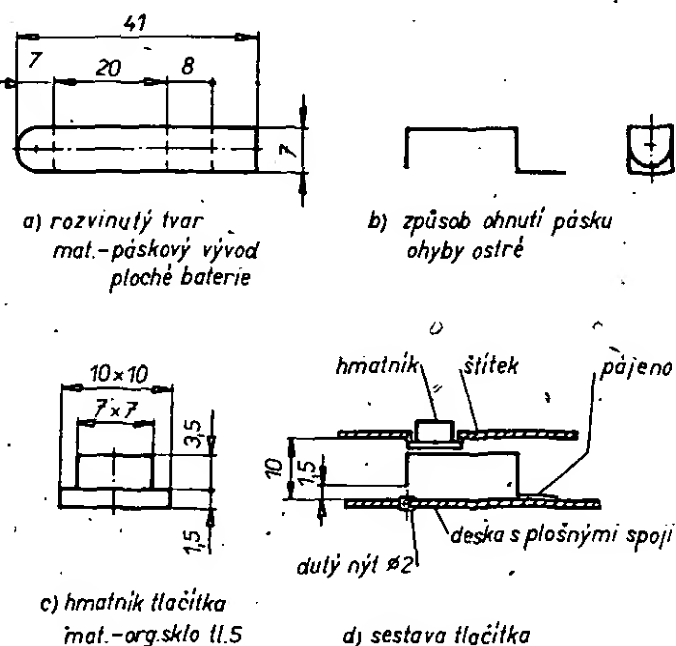
D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6	KA 261 (KA206)
D_7	LQ1732
D_8	KY132/80
T_2, T_5	KC508 (KC509, KC147 až KC149)
T_4	KF517

Ostatní konstrukční prvky

Miniaturní zdířka	6AF 280 30, 2 ks
5pólová pevná zásuvka	6AF 282 10 (6AF 282 11)

Objímka pro tranzistor v pouzdru typu K505 se 4 vývody na Ø 5 mm, 2 ks

Objímka pro integrované obvody v pouzdru typu K505 s osmi vývody



Obr. 44. Tlačítko

Regulovatelný stejnosměrný zdroj M 01

Modul M 01 je při spojení s vhodným bezpečným zdrojem střídavého nebo stejnosměrného napětí univerzálním napájecím zdrojem s výstupním napětím 1,5 až 9 V. Je určen především k napájení nejrůznějších pokusných zapojení, k opravám a provozu spotřebičů určených pro napájení z baterií. Zdroj dodává proud až 0,5 A. Proti přetížení je chráněn elektronickou pojistkou, která omezuje výstupní proud. Provozní stav a činnost pojistky jsou indikovány svítivými diodami.

Základní technické údaje

Výstupní stejnosměrné napětí: min. 1,5 až 9 V.
Max. zatěžovací proud I_{max}: typ. 0,5 A.
Vnitřní odpor: max. 1 Ω.
Ochrana elektronickou pojistkou omezující výstupní proud na: typ. 1,1 I_{max}.
Vstupní napětí (střídavé nebo stejnosměrné): 12 až 16 V.
Doporučený zdroj pro napájení modulu: zdroj pro modelové železnice FZ1 nebo F2.
Výstup pro měření odebíraného proudu s doporučeným měřidlem M 04 (vstup 100 μA; 2,5 kΩ): rozsah 0,5 A.

Popis zapojení

Zapojení stabilizovaného zdroje z obr. 45 lze rozdělit na tři funkční celky – usměrňovač, stabilizátor a elektronickou pojistku s obvodem indikace.

Usměrňovač pracuje v můstkovém zapojení s diodami D_1, D_2, D_3 a D_4 a filtračním kondenzátorem C_4. Kondenzátory C_1, C_2 a C_3 omezují rušení, vznikající na diodách usměrňovače. Obvod stabilizátoru je tvořen zdrojem referenčního napětí (D_5, D_6, D_7, T_6), rozdílovým (diferenčním) zesilovačem (T_1, T_2), zesilovačem odchylky T_4 a výkonovým regulačním tranzistorem T_5. Princip činnosti stabilizačního obvodu je na obr. 46. K získání referenčního napětí je použita svítivá dioda D_7, která je napájena ze zdroje proudu, tvořeného diodami D_5, D_6, rezistory R_1, R_2 a tranzistorem T_6. Tím je zajištěno, že proud protékající diodou D_7 se jen málo mění při změnách napájecího napětí, proto je úbytek napětí na diodě D_7 stálý (asi 1,6 V). Svítivá dioda D_7 současně indikuje provozní stav zdroje. Děličem R_3, R_4 je referenční napětí upraveno na velikost, která odpovídá minimálnímu výstupnímu napětí zdroje. Diferenční zesilovač (T_1, T_2) řídí přes zesilovač odchylky T_4 regulační tranzistor T_5 tak, aby na bázích T_1 a T_2 bylo shodné napětí. To znamená, že napětí na výstupu děliče R_{13}, R_{14} + R_{15} obvod stabilizátoru vždy vyrovná na napětí shodné s referenčním.

Platí:

$$U_{B2} = U_R \quad (1).$$

Zanedbáme-li proud báze T_2 je zřejmé, že děličem protéká proud

$$I_D = \frac{U_{B2}}{R_{14} + R_{15}} = \text{konst.} \quad (2).$$

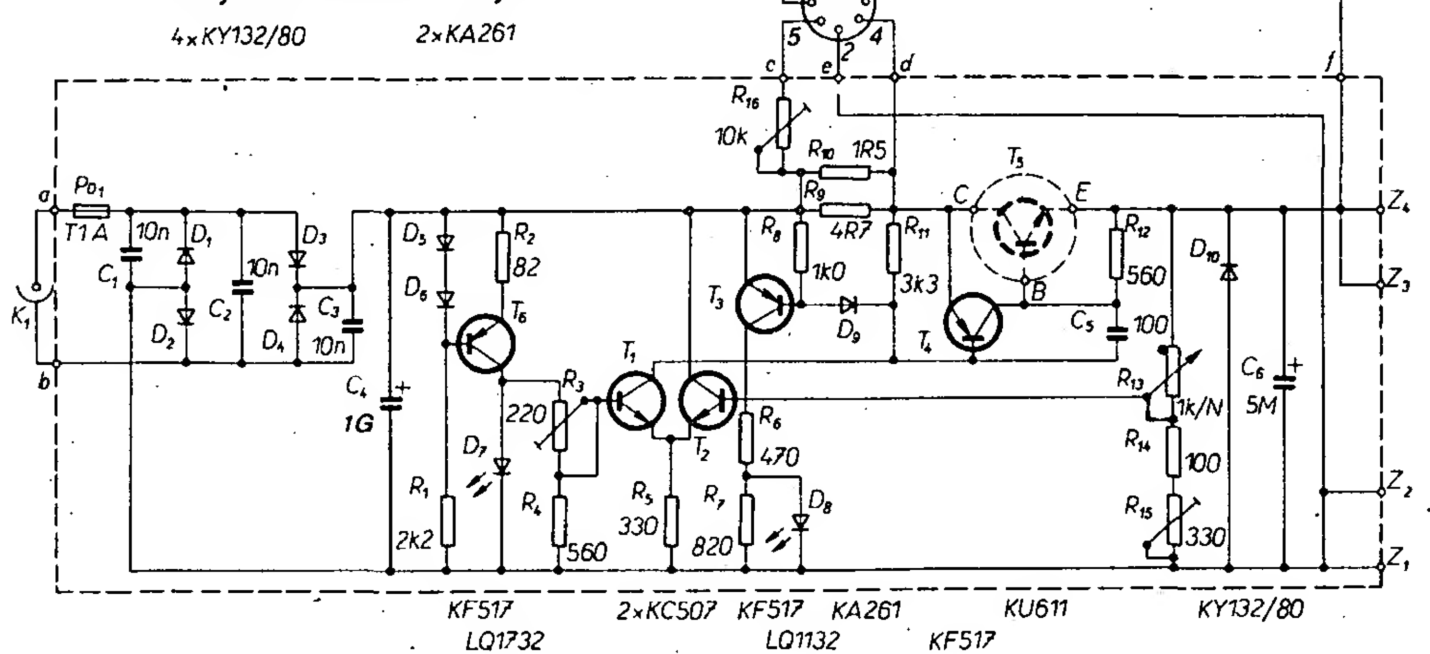
Vidíme, že velikosti všech veličin ve vztahu (2) jsou konstantní – proud děličem je stálý.

Výstupní napětí je dáno součtem napětí U_{B2} a napětí na potenciometru R_{13}, tedy

$$U_{výst} = U_{B2} + U_{R13} \quad (3);$$

vyjádříme-li

$$U_{R13} = R_{13} I_D = R_{13} \,.\, \text{konst.} \quad (4)$$



Obr. 45. Schéma zapojení regulovatelného stejnosměrného zdroje M 01

a dosadíme-li z (1), je

$$U_{výst} = U_R + R_{13} \,.\, \text{konst.} \quad (5).$$

Vidíme, že pro běžec potenciometru vytočený zcela vlevo (R_{13} = 0) bude výstupní napětí

$$U_{výst} = U_{výs.min.} = U_R \quad (6).$$

Naopak největší výstupní napětí bude při běžci potenciometru vytočeném zcela vpravo, viz (5).

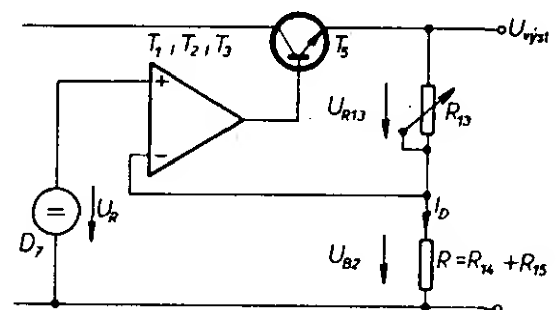
Výraz (5) ukazuje, že výstupní napětí závisí na odporu potenciometru R_{13} lineárně, tj. rovnoměrným otáčením hřídelem potenciometru se výstupní napětí zvětšuje rovnoměrně – stupnice je rovnoměrná – lineární. Použitím drátového potenciometru, který má díky své konstrukci zajištěn lineární průběh odporové dráhy, dosáhneme možnosti předkreslit stupnici na štítek modulu. Při nastavování zdroje prvky R_3 (nastavení $U_{výst.min}$) a R_{15} (nastavení $U_{výst\,max}$), stupnici sesouhlasíme se skutečností. Zdroj je chráněn elektronickou pojistkou tvořenou rezistory R_8 až R_{11}, diodou D_9 a tranzistorem T_3. Proud odebíraný ze zdroje vytvoří průchodem přes R_8, R_9 úbytek napětí, který po dosažení asi 0,65 V začíná otevírat diodu D_9. Proud v kolektoru T_1 se začíná větvit. Část tekoucí do báze T_4 se zmenšuje, zavírají se T_4 a T_5 a výstupní proud bude omezován. Druhá část proudu protéká přes přechod emitor-báze T_3 a diodu D_9. Proudem přes T_3 se tranzistor otevírá – rozsvěcuje se svítivá dioda D_8 („přetížení"). Rezistor R_7 přispívá k tomu, aby se dioda nerozsvěcovala postupně. Kondenzátor C_5 zajišťuje stabilitu celé zpětnovazební smyčky. Dioda D_{10} chrání zdroj při připojení napětí opačné polarity na výstupní svorky.

Montáž a oživení

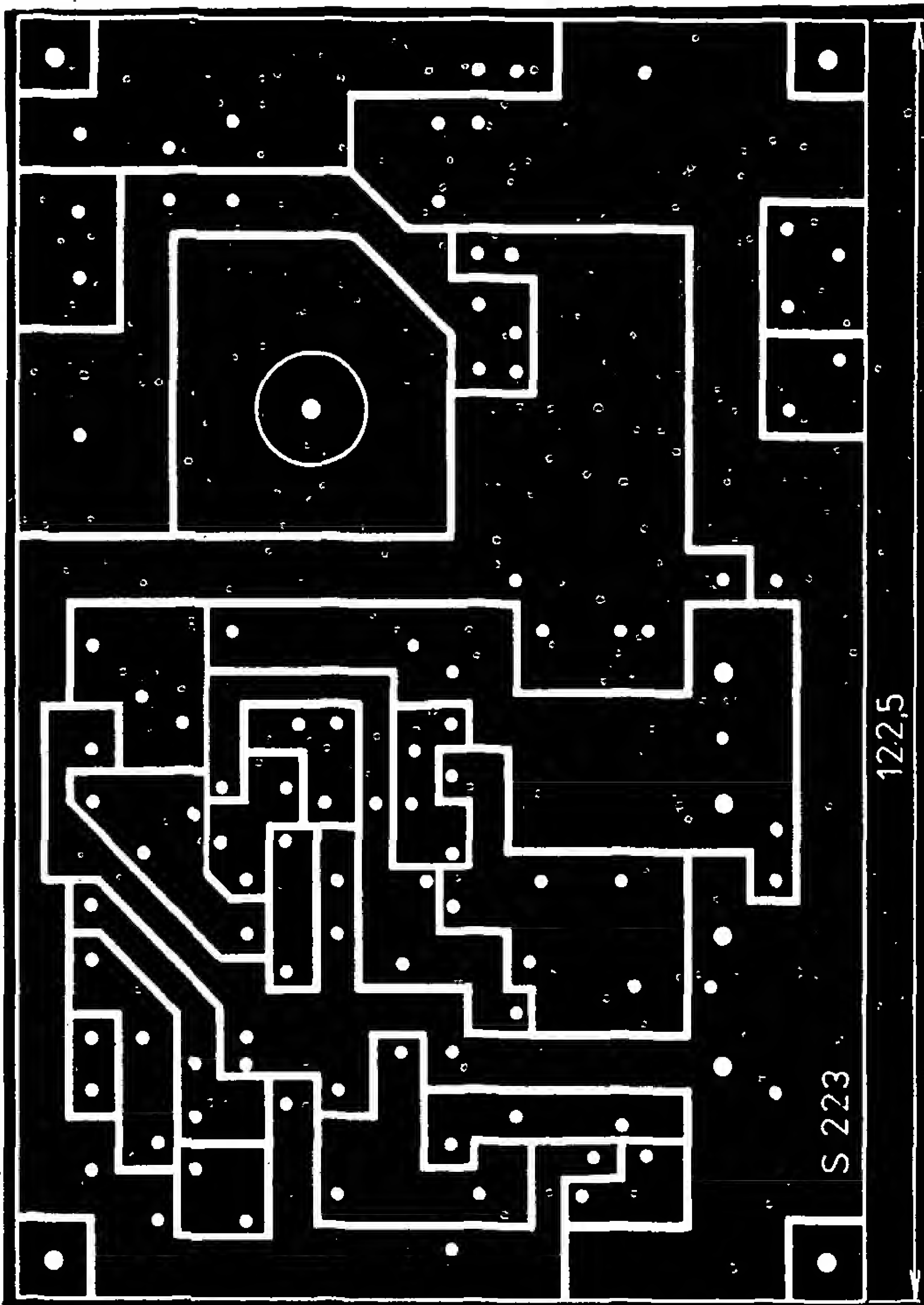
Regulovatelný zdroj M 01 je postaven na desce s plošnými spoji podle obr. 47. Před osazováním desky součástkami nejprve prosvětlením zkontrolujeme kvalitu odleptání mezer, zda mezi spoji nezůstaly vodivé můstky a zkraty a není-li fólie přerušena či odtržena od základního materiálu. Je výhodné, máme-li možnost součástky před osazením do desky alespoň orientačně změřit.

Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je na obr. 48. V desce je upevněn i regulační potenciometr R_{13} a to tak, že jeho hřídel je na straně měděné fólie a vývody jsou s plošnými spoji propojeny drátovými spojkami. Svítivé diody D_7 a D_8 jsou pájeny ze strany měděné fólie.

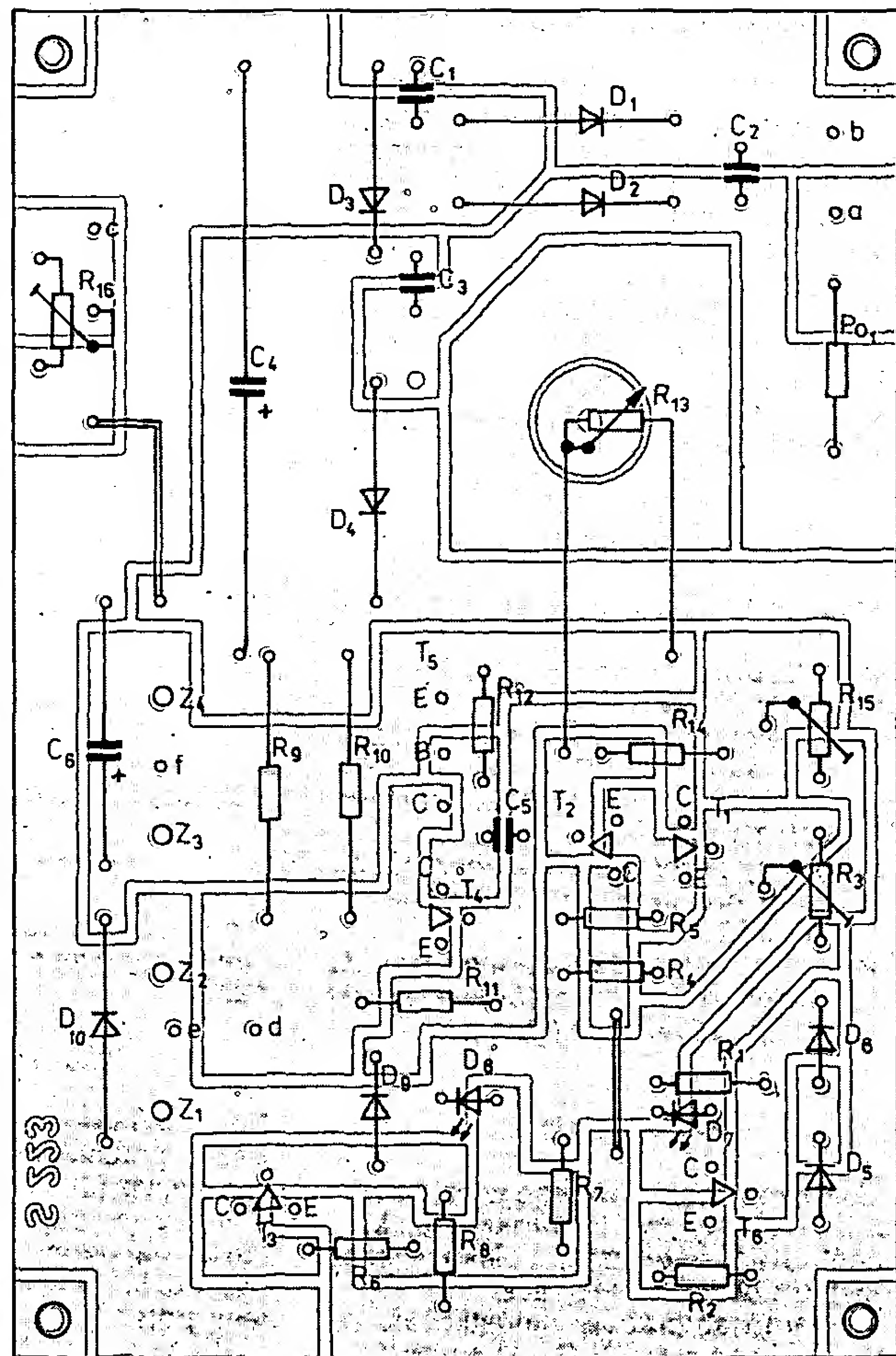
Výkonový tranzistor je umístěn na zadním panelu, který současně slouží jako chladič. Připevňujeme jej izolovaně – je podložen slídovou podložkou, montážní šroubky mají izolační podložky a jsou na nich navlečeny izolační trubičky z plastové „slámky" na nápoje. Proti náhodnému zkratu s kostrou je tranzistor chráněn vhodným krytem (viz kapitola 4). Na zadní panel připevníme také konektory K_1, K_2, K_3. Desku s plošnými spoji osazujeme postupně a postupně i zdroj oživíme. Nejprve osadíme obvod usměrňovače a proudového zdroje s referenční diodou D_7. Obvody znázorněné ve schématu vpravo od R_3, R_4 zatím neosazujeme. Na vstup nyní přivedeme střídavé nebo stejnosměrné napájecí napětí. Připojíme-li k modulu střídavé napětí asi 12 V, bude na vyhlazovacím kondenzátoru C_4 stejnosměrné napětí asi 1,4krát větší (obvod není zatížen). Při připojení stejnosměrného napětí libovolné polarity bude na C_4 napětí správné polarity asi o 1,2 V menší, než je napětí připojeného zdroje. Vždy po připojení napájecího napětí musí dioda D_7 svítit. Pak osadíme zbylé obvody zdroje. Výkonový tranzistor propojíme s deskou krátkými drátovými spojkami. Čelní panel zatím neosazujeme. Na výstup desky připojíme voltmetr s rozsahem 10 až 12 V a zátěž, tvořenou dvěma paralelně spojenými žárovkami 6,3 V/0,3 A (z pistolové páječky). Běžec potenciometru vytočíme zcela vlevo a připojíme napájecí napětí. Otáčíme-li nyní zvolna hřídelem potenciometru, má se výstupní napětí zvětšovat, žárovky se pomalu rozsvěcují. Když se blíží plnému jasu – při výstupním napětí kolem 7 V – musí se rozsvítit indikace přetížení, dioda D_8. Vytočíme-li hřídel potenciometru zcela vlevo, trimrem R_3 musí být nastavitelné výstupní napětí 1,5 V, při hřídeli potenciometru zcela vpravo pak trimrem R_{15} napětí 9 V. Tím jsme



Obr. 46. Princip činnosti stabilizovaného zdroje



Obr. 47. Deska s plošnými spoji S 223 regulovatelného stejnosměrného zdroje M 01

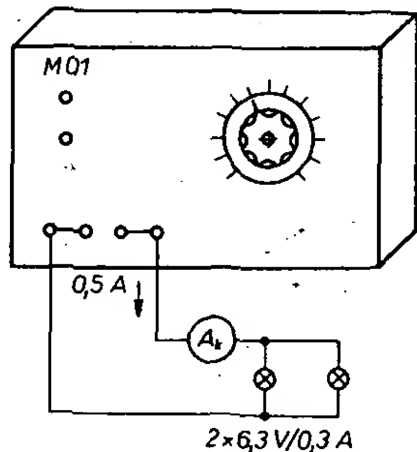


Obr. 48. Rozložení součástek regulovatelného stejnosměrného zdroje M 01 na desce S 223

ověřili správnou funkci obvodů zdroje. Přistoupíme k montáži čelního panelu.

Ovládací knoflík potenciometru upevníme tak, aby při vytočení hřídele zcela vlevo byla jeho ryska asi 3 mm před ryskou stupnice „1,5 V". Diody D_7, D_8 mají být upevněny tak, že zaoblenou částí vystupují z čelního panelu. Na konec zdroj definitivně nastavíme: na výstup připojíme kalibrační voltmetr, knoflík potenciometru nastavíme na rysku „1,5 V" a přivedeme napájecí napětí. Trimrem R_3 nastavíme výstupní napětí přesně na 1,5 V. Nastavíme ukazatel na knoflíku potenciometru na rysku „1,5 V" a toto napětí nastavíme podle kalibračního voltmetru trimrem R_{15}.

Zkontrolujeme funkci elektronické pojistky a indikace přetížení. K tomu zapojíme obvod podle obr. 49. Zvětšujeme výstupní napětí a zjišťujeme, při jakém proudu začne pracovat elektronická pojistka a rozsvítí se indikace přetížení. Doporučený proud je 0,52 až 0,56 A. Podle potřeby můžeme upravit odpory rezistorů R_9, R_{10}. Zapojení modulu M 01 je upraveno tak, že je možno jednoduchým způsobem měřit velikost odebíraného výstupního proudu, aniž by se zhoršil vnitřní odpor zdroje. Napětí úměrné odebíranému proudu snímáme z paralelní kombinace rezistorů R_9, R_{10} a přes R_{16} je přivádíme na kontakty *4* a *5* konektorů K_2, K_3. Jejich spojením s některým se součinnostních vstupů modulu M 04 (citlivost 100 μA/0,25 V) můžeme měřit odebíraný proud do 0,5 A. Zdroj kalibrujeme také v zapojení podle obr. 49, navíc je třeba propojit jej s modulem M 04 přes konektor K_2 nebo K_3. Regulací výstupního napětí zdroje nastavíme proud zátěží 0,5 A a trimrem R_{16} sesouhlasíme údaj modulu M 04 a kalibračního ampérmetru.



Obr. 49. Kontrola činnosti pojistky a indikace přetížení

Použití

Modul stabilizovaného regulovatelného zdroje M 01 můžeme připojit ke střídavému i stejnosměrnému napájecímu zdroji. Lze jím napájet řadu nejrůznějších pokusných zapojení i spotřebičů s původně bateriovým napájením, z konektorů K_2, K_3 pak také další moduly (při nastaveném dostatečném výstupním napětí). Modul patří k nejpoužívanějším přístrojům dílny elektronika. Mezi jeho přednosti patří elektronická pojistka s indikací funkce, plynulé nastavení výstupního napětí podle stupnice na panelu přístroje i dobré parametry.

Seznam součástek

Rezistory (není-li uvedeno jinak TR 213 s tolerancí ±10 % nebo jiné miniaturní rezistory)

R_1	2,2 kΩ
R_2	82 Ω
R_4	560 Ω
R_5	330 Ω
R_6	470 Ω
R_7	820 Ω
R_8	1 kΩ
R_9	4,7 Ω, TR 215
R_{10}	1,5 Ω, TR 215
R_{11}	3,3 kΩ
R_{12}	560 Ω
R_{14}	100 Ω
R_3	220 Ω, trimr TP 040
R_{13}	1 kΩ, potenciometr WN 691 70 (drátový)
R_{15}	330 Ω, trimr TP 040

Kondenzátory

C_1, C_2, C_3	10 nF, TK 745
C_4	1000 μF, TE 675
C_5	100 pF, TK 794
C_6	5 μF, TE 984

Polovodičové součástky

D_1, D_2, D_3, D_4, D_{10}	KY132/80
D_5, D_6, D_9	KA261 (KA206)
D_7	LQ1732
D_8	LQ1132
T_1, T_2	KC507 (KC147)
T_3, T_4	KF517
T_5	KD333 (KD335, KD337, KU611, KU612)

Ostatní konstrukční prvky

Kontakty držáku pojistky, 2 ks
Pojistková vložka T 1 A
Miniaturní zdířka 6AF 243 20, 4 ks
5pólová pevná zásuvka 6AF 282 10 (6AF 282 11), 2 ks
2pólová zásuvka (souosá) 2AF 282 58 (6AF 280 00)

Stabilizované zdroje M 02, M 03

Modul M 02 představuje ve spojení s vhodným bezpečným zdrojem stejnosměrného nebo střídavého napětí univerzální napájecí zdroj s pevným výstupním napětím, u modulu M 03 lze výstupní napětí napevno nastavit v omezeném rozsahu. Moduly jsou určeny především k napájení ostatních modulů (např. M 05, M 07, M 08 apod.), ale mohou napájet i nejrůznější pokusná zapojení, případně spotřebiče, které nejsou vybaveny vlastním síťovým zdrojem (přijímače apod.).

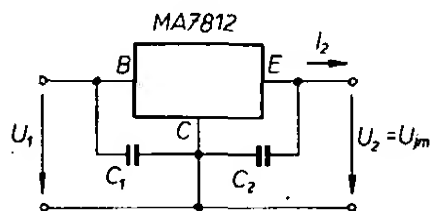
Zdroje jsou chráněny proti přetížení a zkratu elektronickou pojistkou v použitém integrovaném obvodu. Provozní stav zdrojů a překročení výstupního proudu 0,5 A jsou indikovány svítivými diodami.

Základní technické údaje

Výstupní napětí: M 02 12 V,
M 03 5 až 9 V.
Max. zatěžovací proud (překročení indikováno svítivou diodou): 0,5 A.
Vnitřní odpor: max. 0,5 Ω.
Ochrana proti přetížení: elektronickou pojistkou použitého IO.
Vstupní napětí: střídavé nebo stejnosměrné, větší než $U_{výst}$ +4 V.

Popis zapojení

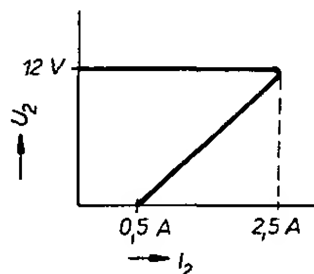
V modulech je využit třísvorkový monolitický výkonový stabilizátor napětí MA7812 (M 02) nebo MA7805 (M 03). Základní zapojení stabilizátoru je na obr. 50. Obvody tepelného a nadproudového jištění jsou součástí integrovaného obvodu. Podle doporučení výrobce jsou ze svorek B a E proti společné svorce K zapojeny kondenzátory C_1 a C_2. Oba kondenzátory jsou připájeny přímo na vývo-



Obr. 50. Základní zapojení třísvorkového stabilizátoru napětí

dech integrovaného obvodu a přispívají ke stabilitě stabilizátorů.

Výstupní napětí je dáno parametry integrovaného obvodu. Na obr. 51 je typická voltampérová charakteristika integrova-



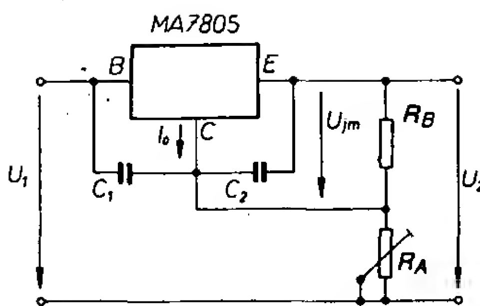
Obr. 51. Typická voltampérová charakteristika obvodu MA7812

ného obvodu MA7812. Potřebujeme-li z nějakého důvodu zvětšit výstupní napětí nad velikost určenou typem monolitického stabilizátoru, můžeme toho dosáhnout odporovým děličem (viz obr. 52).

Pro výstupní napětí U_2 platí:

$$U_2 = U_{jm} + U_{jm}\frac{R_A}{R_B} + I_0R_1 \doteq U_{jm}\left(1 + \frac{R_A}{R_B}\right)$$

kde U_{jm} je jmenovité výstupní napětí integrovaného obvodu a



Obr. 52. Zvětšení výstupního napětí monolitického třísvorkového stabilizátoru

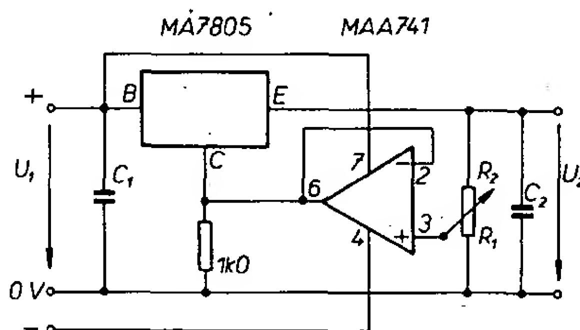
U_2 požadované zvětšení výstupního napětí.

Z výstupní svorky K integrovaného obvodu vytéká podle velikosti vstupního napětí a podle zatěžovacího proudu proud I_0 od 0,5 do několika mA, který zvětšuje skutečný úbytek napětí na R_1.

Například požadujeme-li zvětšit výstupní napětí obvodu MA7805 z 5 V na 9 V, použijeme rezistory R_A = 120 Ω a R_B = = 150 Ω. I_0 uvažujeme 1 mA. Pak

$$U_2 = 5\left(1 + \frac{120}{150}\right) + 1.10^{-3}.120 = 9 + 0{,}12 \doteq 9\,V.$$

Orientační odpory rezistorů R_A a R_B pro výstupní napětí 5 až 10 V jsou v tab. 2. Pro potlačení vlivu změn proudu I_0 v děliči můžeme použít zapojení podle obr. 53.



Obr. 53. Potlačení vlivu proudu společnou svorkou monolitického stabilizátoru při zvětšení výstupního napětí

Celkové zapojení stabilizovaného zdroje M 02, M 03 je na obr. 54. Střídavé nebo stejnosměrné napájecí napětí přivádíme z konektoru K_1 přes pojistku na usměrňovač s s diodami D_2, D_3, D_4 a D_5 v můstkovém zapojení s filtračním kondenzátorem C_4. Kondenzátory C_1, C_2 a C_3 omezují rušení vznikající na diodách usměrňovače.

Stejnosměrné napětí na kondenzátoru C_4 je při výstupu naprázdno asi 1,4× větší než vstupní střídavé napětí, nebo o asi 1 V menší než vstupní stejnosměrné napájecí napětí. Vstup integrovaného stabilizátoru IO_1 je označen B, výstup stabilizovaného napětí E; K je společná svorka pro vstupní a výstupní napětí. Ze schématu zapojení (obr. 54) je vidět, že rezistory R_{13} a R_{14} lze pro modul M 03 nastavit větší výstupní napětí. Pro modul M 02 je rezistor R_{13} nahrazen drátovou spojkou, rezistor R_{14} není osazen.

Obvod s tranzistory T_1, T_2 a T_3 signalizuje překročení max. výstupního proudu. Tranzistory T_1 a T_2 tvoří diferenční zesilovač. V normálním pracovním režimu zdroje je tranzistor T_1 otevřen předpětím z děliče R_2, R_3, R_4 a úbytkem na společném emitorovém rezistoru R_8 je uzavřen tranzistor T_2. Výstupní proud stabilizovaného zdroje prochází paralelní kombinací rezistorů R_5 a R_6. Překročením zvoleného výstupního proudu vznikne na rezistorech R_5, R_6 takový úbytek napětí, že se uzavře tranzistor T_1. Tím se otevře tranzistor T_3 a rozsvítí se indikační svítivá dioda D_6 (přetížení). Stejný stav nastane, zmenší-li se výstupní napětí zdroje při přetížení nebo zkratu na výstupu.

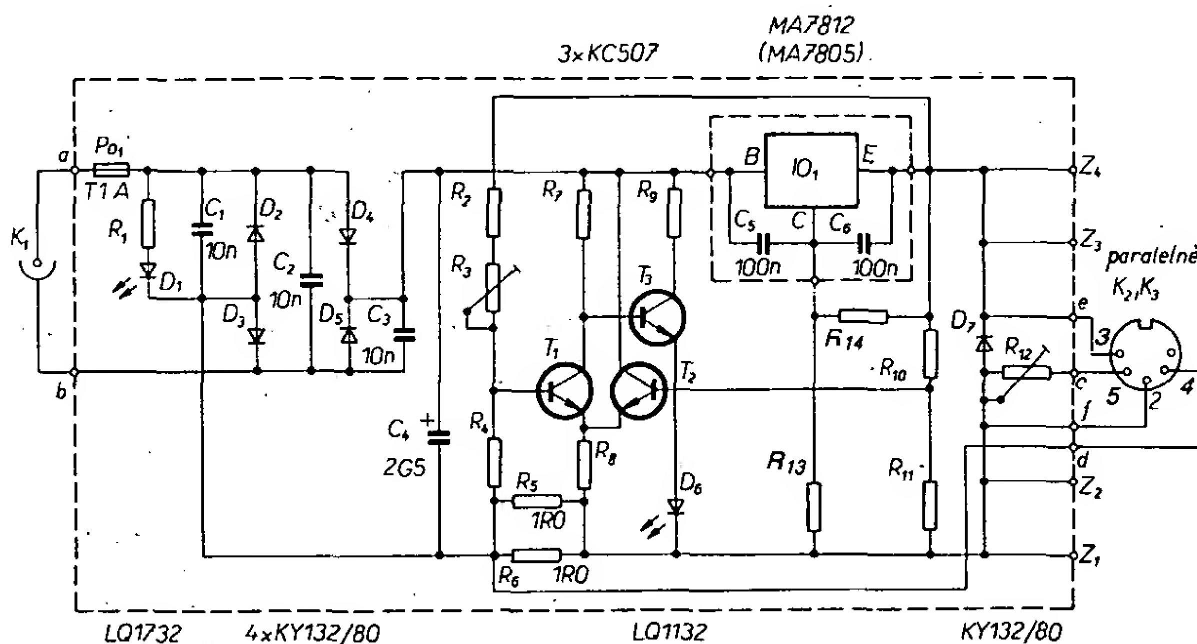
Obvod indikace mimoprovozního stavu se snímacím obvodem pro měření proudu je zařazen před stabilizátor napětí, a proto nezhoršuje vlastnosti zdroje (nezvětšuje jeho výstupní odpor).

Montáž a oživení

Stabilizovaný zdroj M 02, M 03 je postaven na desce s plošnými spoji podle obr. 55. Před osazováním desky součástkami nejprve prosvětlením zkontrolujeme kvalitu odleptání mezer. Kontrolujeme, zda mezi spoji nezůstaly vodivé můstky a zkraty a není-li fólie přerušena či odtržena od základního materiálu. Je výhodné, máme-li možnost součástky před osazením do desky alespoň orientačně změřit.

Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je na obr. 56. Svítivé diody D_1 a D_6 jsou umístěny ze strany měděné fólie, integrovaný obvod IO_1 je umístěn pro lepší chlazení na zadním panelu modulu a s deskou je propojen drátovými spojkami. Kondenzátory C_5 a C_6 jsou pájeny přímo na vývody integrovaného obvodu IO_1.

Stabilizovaný zdroj M 02 využívá integrovaného stabilizátoru MA7812 v základním zapojení podle obr. 50. Na desce s plošnými spoji nahradíme rezistor R_{13} drátovou spojkou, rezistor R_{14} do desky neosadíme. Výstupní napětí integrovaného stabilizátoru MA7805 v M 03 je podle obr. 52 upraveno děličem s rezistory R_{13} a R_{14}. Podle požadovaného výstupního



Obr. 54. Schéma zapojení stabilizovaného zdroje M 02, M 03

Tab. 2. Orientační odpory rezistorů pro výstupní napětí 5 až 10 V.

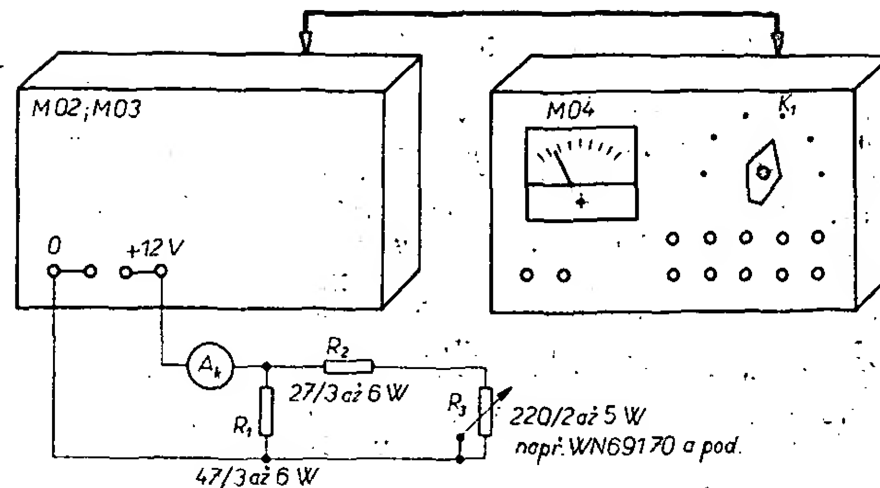
Výstupní napětí U_2 [V]	5	6	7	8	9	10
R_A [Ω]	0	27	56	82	120	150
R_B [Ω]	nezapojen	150	150	150	150	150

napětí osadíme rezistory R_{13} a R_{14} podle tab. 2.

Oživení a nastavení by nemělo činit potíže. Na kondenzátoru C_4 naměříme po připojení střídavého napětí na vstup modulu napětí naprázdno asi 1,4× větší, než je napětí vstupní minus úbytek na diodách. Je si však třeba uvědomit, že při zatížení se napětí zmenší. Použijeme-li jako vstupní napětí napětí stejnosměrné, pak pro činnost stabilizátoru je lhostejná jeho polarita, svítivá dioda D_1 však bude svítit pouze tehdy, bude-li kladný pól připojen do bodu *a*. Výstupní napětí modulu je pevně určeno integrovaným stabilizátorem IO_1, případně děličem s rezistory R_{13}, R_{14}. Výstupní napětí můžeme zkontrolovat voltmetrem připojeným na výstupní svorky modulu a podle potřeby nastavit změnou odporu rezistoru R_{13}.

Zbývá nastavit obvod indikace přetížení s tranzistory T_1, T_2 a T_3 a obvod pro měření výstupního proudu (R_{12}). K výstupním svorkám připojíme přes kalibrační ampérmetr takový rezistor, aby bylo možné nastavit drátovým potenciometrem výstupní proud zdroje na 0,5 A (viz obr. 57).

Odporový trimr R_3 nastavíme do polohy, v níž se svítivá dioda D_6 právě rozsvěcuje. Tím je obvod indikace přetížení nastaven. Připojíme měřidlo M 04 (vstup K_1) 100 μA/2,5 kΩ a trimrem R_{12} nastavíme na měřidle plnou výchylku ručky 100 dílků, která bude odpovídat výstupnímu proudu zdroje 0,5 A. Budeme-li používat k měření výstupního proudu jiné měřidlo, odpor rezistoru R_{12} podle potřeby upravíme.



Obr. 57. Nastavení indikace a rozsahu měřidla výstupního proudu

Použití

Moduly M 02 a M 03 představují ve spojení s vhodným bezpečným zdrojem stejnosměrného nebo střídavého napětí univerzální stabilizované zdroje. M 02 má výstupní napětí 12 V a je určen především k napájení ostatních modulů (můstek *RC*, sledovač signálu, ohmmetr, apod.). Napětí zdroje M 03 lze nastavit děličem s rezistory R_{13} a R_{14} na požadovanou velikost (5 až 9 V). Oba moduly mohou napájet i nejrůznější pokusná zapojení, případně spotřebiče napájené bateriemi, které nejsou vlastním síťovým zdrojem vybaveny (rozhlasové přijímače apod.).

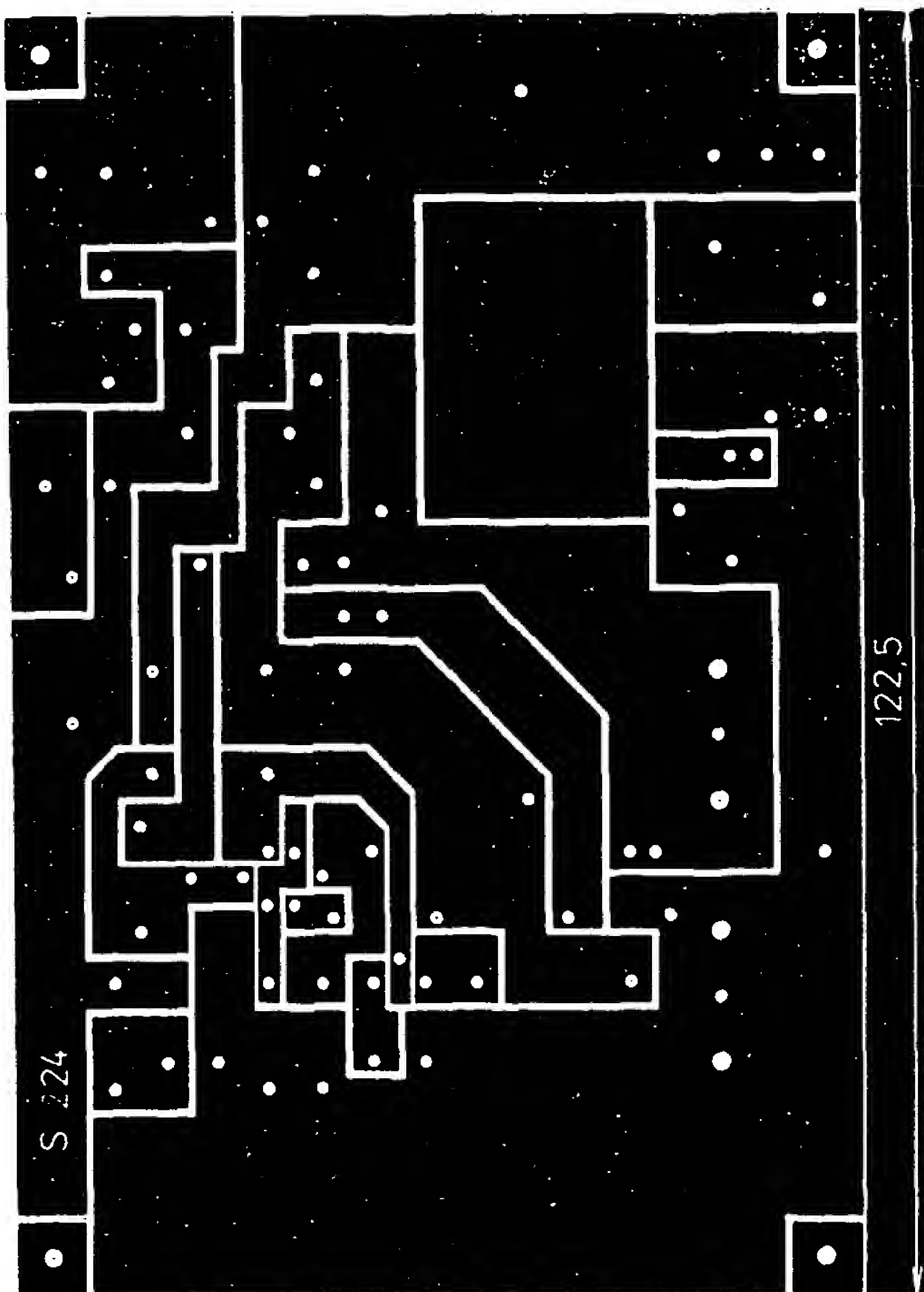
Zdroj je chráněn proti přetížení i zkratu elektronickou pojistkou v použitém integrovaném obvodu. Jak plyne z obr. 51, může být skutečný výstupní proud větší než 0,5 A. Překročení výstupního proudu 0,5 A je indikováno svítivou diodou.

Seznam součástek

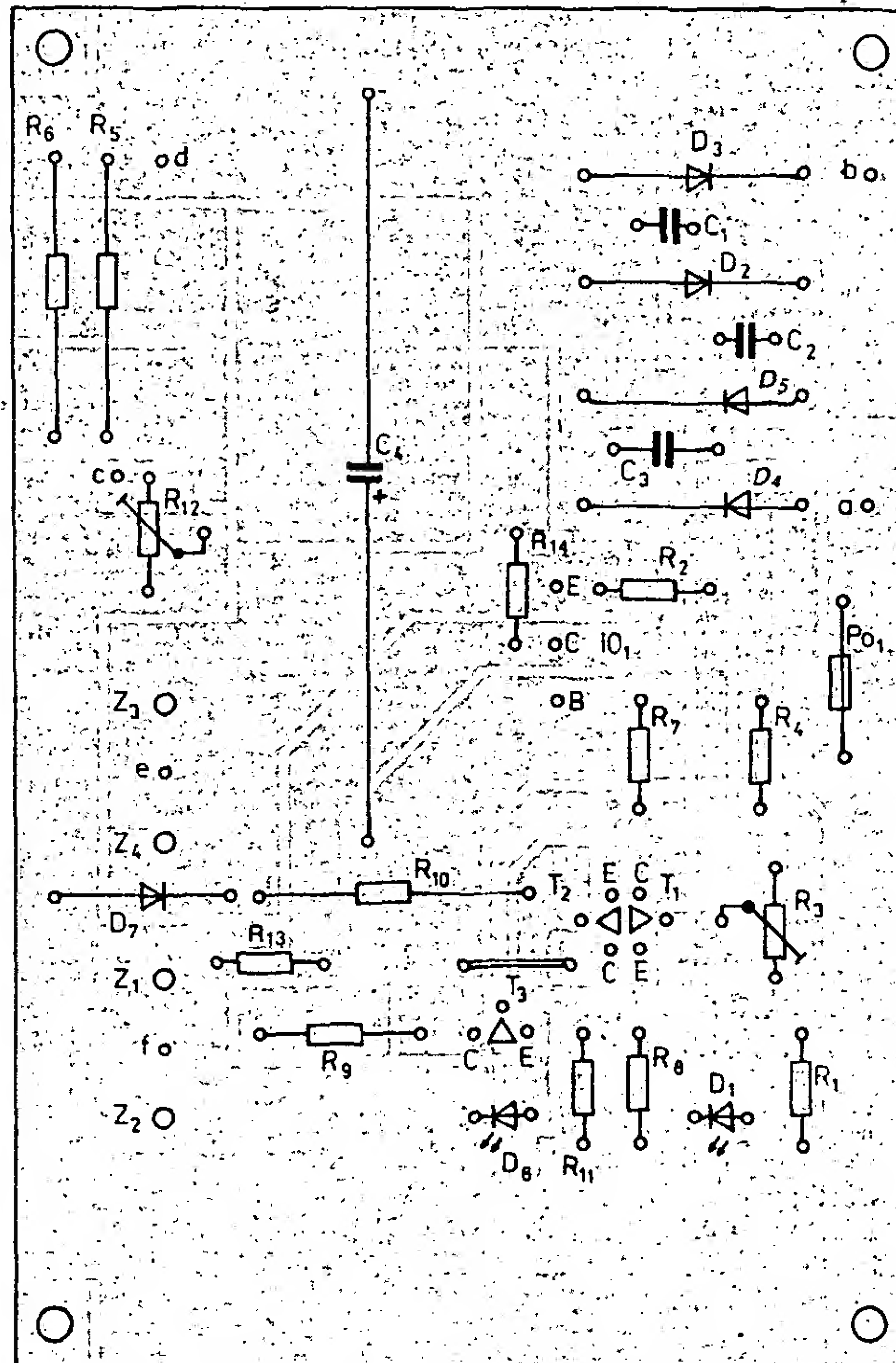
M02 (12 V), M 03 (5 až 9 V)

Rezistory (není-li uvedeno jinak, typu TR 213 s tolerancí odporu 10 % nebo jiné miniaturní rezistory)

R_1 1 kΩ
R_2 10 kΩ pro M 02; 2,7 (3,9) kΩ pro M 03
R_4 1,5 kΩ
R_5, R_6 1 Ω, TR 215
R_7 22 kΩ pro M 02; 12 kΩ pro M 03
R_8 680 Ω
R_9 1,8 kΩ pro M 02; 820 Ω pro M 03
R_{10} 8,2 kΩ pro M 02; 4,7 (6,8) kΩ pro M 03
R_{11} 1,2 kΩ pro M 02; 1,8 kΩ pro M 03



Obr. 55. Deska s plošnými spoji S 224 stabilizovaného zdroje M 02, M 03



Obr. 56. Rozložení součástek stabilizovaného zdroje M 02, M 03 na desce S 224

R_{13}, R_{14}	viz text (tab. 2)
R_3	trimr TP 040, 2,2 kΩ
R_{12}	trimr TP 0,40, 10 kΩ

Kondenzátory

C_1, C_2, C_3	10 nF, TK 745
C_4	2500 μF, TE 676
C_5, C_6	100 nF, TK 783

Polovodičové součástky

D_1	LQ1732
D_2, D_3, D_4, D_5, D_7	KY132/80
D_6	LQ1132
T_1, T_2, T_3	KC507 (KC147)
IO_1	MAA7812 pro M 02; MA7805 pro M 03

Ostatní konstrukční prvky

Miniaturní zdířka 6AF 280 30, 4 ks
Držák pojistky
Pojistková vložka T 1 A
Pětipólová pevná zásuvka 6AF 282 10 (6AF 282 11), 2 ks
Dvoupólová zásuvka 2AF 282 58 (6AF 280 00), 1 ks
Přístrojový knoflík WF 243 20, 1 ks

Modul sledovače signálu M 05

Modul M 05 představuje kombinaci univerzálního nízkofrekvenčního zesilovače jako základního článku ve sdělovací technice a multivibrátoru ve funkci generátoru signálu pravoúhlého průběhu s velkým obsahem harmonických kmitočtů. Sledovač signálu lze použít i ve vysokofrekvenčních obvodech, díky vstupu s detektorem amplitudově modulovaného signálu.

Výstup zesilovače lze zatížit elektroakustickým měničem s různým vstupním odporem (např. reproduktorem s impedancí 4 Ω a větší nebo sluchátky). Modul je chráněn proti přepólování napájecího napětí, nízkofrekvenční vstup zesilovače je chráněn proti přetížení. Je přípustný i trvalý zkrat výstupů. Sledovač signálu pracuje v širokém rozpětí napájecího napětí (5 až 15 V). Modul M 05 s výhodou použijeme k hledání závad v přijímačích, nízkofrekvenčních zesilovačích, magnetofonech apod.

Obvodu zesilovače lze využít jako univerzálního nízkofrekvenčního zesilovače pro nejrůznější aplikace (zesilovač při měření na můstku *RC*, zesilovač k přijímači apod.).

Základní technické údaje

Generátor

Napájecí napětí U_B: 3 až 15 V.
Odběr ze zdroje (U_B = 9 V): menší než 10 mA.
Kmitočet výstupního signálu: asi 1 kHz.
Tvar výstupního signálu: pravoúhlý se střídou asi 1:1.
Amplituda výstupního signálu naprázdno (U_B = 9 V): 0 až min. 2,5 V.
Výstupní odpor při regulátoru úrovně výstupního signálu na maximu: menší než 1,5 kΩ.

Nízkofrekvenční zesilovač

Napájecí napětí U_B: 5 až 15 V.
Odběr z napájecího zdroje bez signálu: menší než 20 mA.
Doporučená zatěžovací impedance R_z: 4 Ω.
Činitel harmonického zkreslení k při U_B = 15 V; R_z = 4 Ω; výstupním výkonu $P_{výst}$ = 0,5 W: menší než 2 %.
Šířka přenášeného kmitočtového pásma (pro pokles −3 dB): min 50 Hz až 15 kHz.
Vstupní odpor (f = 1 kHz): větší než 20 kΩ.
Citlivost vysokofrekvenčního vstupu pro $P_{výst}$ = 100 mW: R_z = 4 Ω; f = 1 MHz, hloubka modulace 30 %; lepší než 25 mV.

Orientační tabulka dosažitelného výstupního výkonu P_0 při R_z = 4 Ω, f = 1 kHz; k = 10 %.
(U_1 – orientační velikost vstupního napětí)

U_B [V]	P_0 [W]	U_1 [mV]
5	0,07	20
9	0,3	40
15	1,0	65

Popis zapojení

Schéma zapojení sledovače signálu je na obr. 58. Zapojení modulu i jeho desku s plošnými spoji lze rozdělit na dvě samostatné části – nízkofrekvenční zesilovač a generátor pravoúhlého signálu.

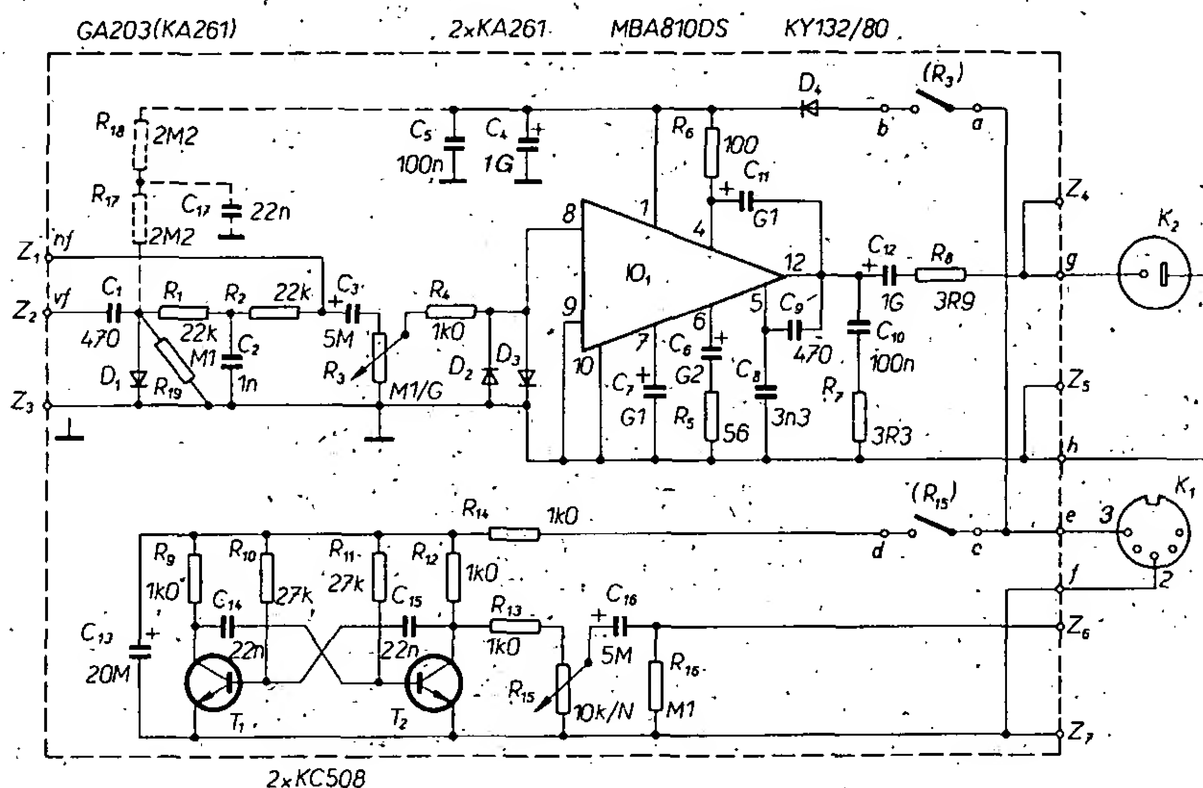
Základem zapojení nízkofrekvenčního zesilovače je integrovaný obvod MBA810DS s vestavenou tepelnou a přepěťovou ochranou. Nízkofrekvenční signál přichází na vstup *8* integrovaného obvodu přes oddělovací kondenzátor C3, regulátor hlasitosti R_3 a ochranný obvod s rezistorem R_4 a diodami D_2 a D_3, které chrání vstup integrovaného obvodu proti přetížení. Celkové zesílení zesilovače určuje rezistor R_5 ve vnější větvi střídavé zpětné vazby. Změnou odporu tohoto rezistoru lze upravit základní citlivost zesilovače. Zmenšíme-li odpor R_5, zesílení zesilovače se zvětší (zúží se ovšem přenášené kmitočtové pásmo). Horní hranici přenášeného kmitočtového pásma určují kondenzátory C_8 a C_9, které současně zabezpečují stabilitu zesilovače. Dolní hranice přenášeného kmitočtového pásma je určena především kapacitou kondenzátoru C_6 a C_{12}. Na výstup *12* integrovaného obvodu je připojen člen tvořený sériovým zapojením kondenzátoru C_{10} a rezistoru R_7. Zabraňuje vzniku parazitních oscilací. Podobný účel plní i blokovací kondenzátory C_4 a C_5. Ke zvětšení účinnosti zesilovače (asi na 65 %) přispívá kondenzátor C_{11}, zapojený v obvodu kladné zpětné vazby (tzv. bootstrap).

Výstup integrovaného obvodu je stejnosměrně oddělen od zátěže kondenzátorem C_{12} a chráněn proti zkratu na výstupních svorkách sériově připojeným rezistorem R_8. Zajistíme-li, že na výstupních svorkách modulu nedojde nikdy ke zkratu, lze tento rezistor vyřadit z činnosti přímým propojením drátovou spojkou. V tom případě je však třeba připevnit k integrovanému obvodu chladič. Zesilovač sledovače signálu je pro rozšíření použitelnosti doplněn jednoduchým vysokofrekvenčním detektorem amplitudově modulovaného signálu s diodou D_1 a dolní propustí s rezistorem R_1 a kondenzátorem C_2. V detektoru je použita germaniová dioda z řady GA200. Vzhledem k tomu, že germaniové diody jsou neperspektivní, je na desce s plošnými spoji počítáno s možností použít křemíkovou diodu (KA261, KA206) s předpětím. Použijeme-li tedy křemíkovou diodu na místě D_1, zapojíme obvod předpětí s rezistory R_{17}, R_{18} a kondenzátorem C_{17} (ve schématu na obr. 58 čárkovaně).

Generátor modulu sledovače signálu je tvořen astabilním klopným obvodem (multivibrátorem) s tranzistory T_1 a T_2 (viz obr. 58).

Připojením napájecího napětí začne tranzistory T_1 a T_2 protékat proud, neboť jsou oba otevřeny kladným předpětím bází (rezistory R_{10} a R_{11}). Vzhledem k tomu, že zapojení má vždy určitou nesouměrnost, bude se zvětšovat proud v jednom tranzistoru rychleji než ve druhém. Zpětnou vazbou přes kondenzátory C_{14} a C_{15} se pomalejší zvětšování proudu v druhém tranzistoru ještě víc zpomalí, až bude první tranzistor zcela otevřen, zatímco druhý se zcela uzavře. Ve druhé fázi se začne uzavírat první tranzistor a otevírat druhý. Toto tzv. „překlopení" závisí na době, za níž se náboj vazebního kondenzátoru C_{14} nebo C_{15} vyrovná přes připojený rezistor (R_{11} nebo R_{10}). Celý děj se opakuje, dvojice tranzistorů se periodicky překlápí, čímž vzniká signál pravoúhlého průběhu s velkým množstvím násobků kmitočtů základního signálu, tzv. vyšších harmonických. Při užití „rychlých" tranzistorů zasahují tyto násobky až do jednotek MHz a umožňují pracovat s multivibrátorem i ve vysokofrekvenčních obvodech.

Základní kmitočet multivibrátoru je určen časovou konstantou, tj. součinem *RC* dvojic R_{10}, C_{15} a R_{11}, C_{14}. Součástky jsou zvoleny tak, že základní kmitočet výstupního signálu je asi 1 kHz. Čím je časová konstanta větší, tím nižší je kmitočet výstupního signálu multivibrátoru. Pokud



Obr. 58. Schéma zapojení sledovače signálu M 05

$R_{10}=R_{11}$ a $C_{14}=C_{15}$, bude výstupní signál souměrný, tj. se střídou 1:1.

Montáž a oživení

Sledovač signálu je postaven na desce s plošnými spoji podle obr. 59. Před osazováním desky součástkami nejdříve prosvětlením zkontrolujeme kvalitu odleptání mezer, zda mezi spoji nezůstaly vodivé můstky a zkraty a není-li fólie přerušena nebo odtržena od základního materiálu. Je výhodné, máme-li možnost součástky před osazením do desky alespoň orientačně změřit.

Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je obr. 60. Na desce jsou umístěny i oba potenciometry (R_3 a R_{15}) a to tak, aby jejich hřídele byly na straně měděné fólie; jejich vývody jsou s deskou s plošnými spoji propojeny drátovými spojkami. Drátovými spojkami jsou připojeny i oba spínače potenciometrů.

Osazenou desku pečlivě zkontrolujeme podle schématu zapojení (obr. 58) a je-li vše v pořádku, desku oživíme. Oba spínače vypneme a připojíme reproduktor. Sledovač signálu připojíme přes ampérmetr nejprve na zmenšené napájecí napětí (například jednu plochou baterii 4,5 V). Stejnou funkci jako ampérmetr v tomto případě splní i vlákno vhodné žárovky (pro proud 50 mA), podle jehož jasu můžeme hrubě odhadnout velikost procházejícího proudu. Máme-li k dispozici regulovatelný zdroj, pak nastavíme jeho výstupní napětí na nejmenší velikost (nejlépe na nulu).

Sepneme spínač zesilovače (spřažen s hřídelem R_3) a pomalu zvětšujeme napájecí napětí. Sledujeme odebíraný proud. Bez vybuzení, tj. při regulátoru hlasitosti na minimu, by odebíraný proud neměl překročit asi 15 až 20 mA. Pokud se odebíraný proud nadměrně zvětšuje (vlákno žárovky silně svítí), sledovač odpojíme od zdroje. Bude pravděpodobně závada v zapojení (špatně osazená součástka, kapka cínu mezi vývody integrovaného obvodu nebo mezi plošnými spoji, zkrat v přívodu napájení apod.).

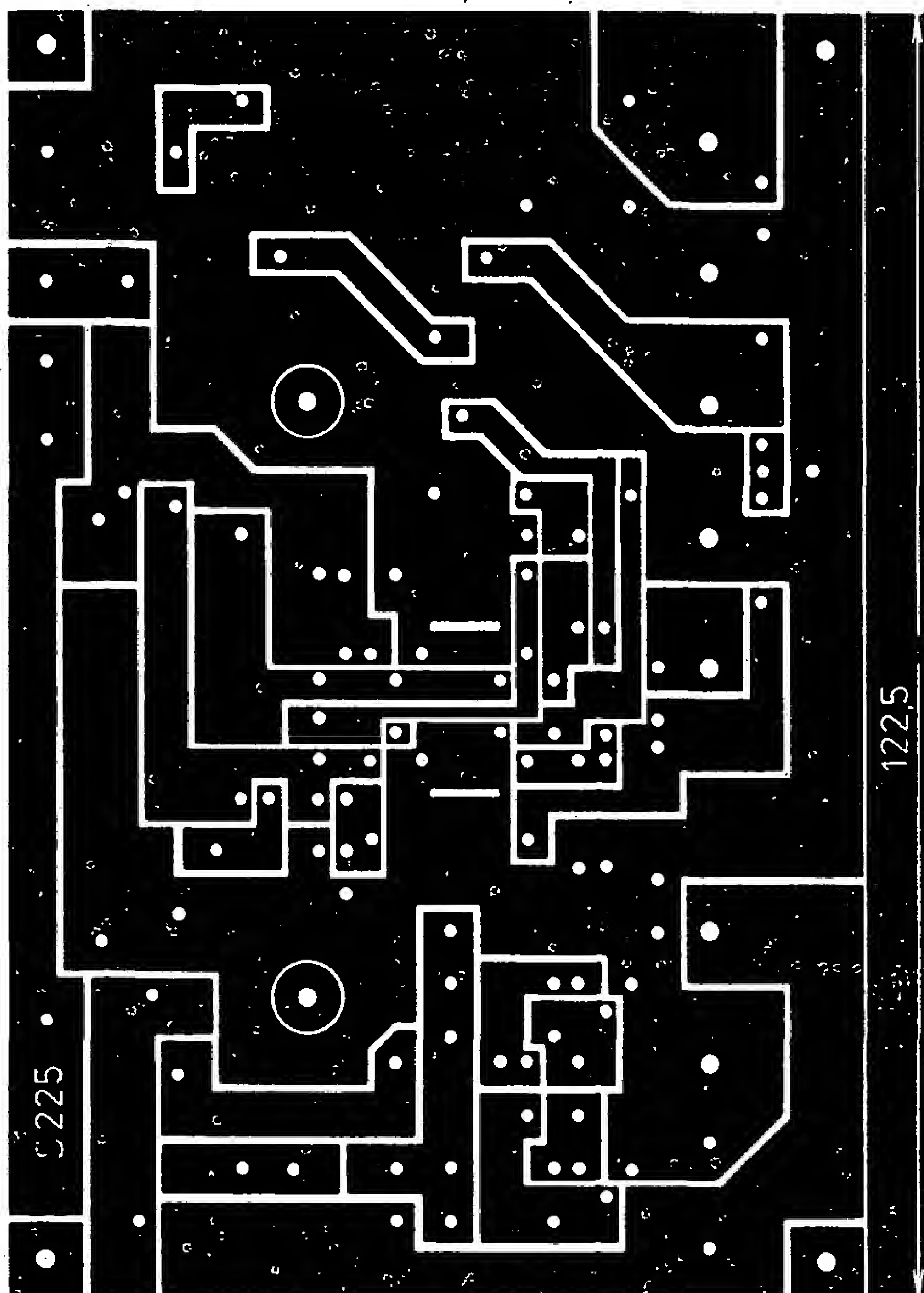
Nepřekročí-li odebíraný proud asi 15 až 20 mA, je vše v pořádku a můžeme ověřit správnou funkci zesilovače. K tomuto účelu lze využít signálu z gramofonu, magnetofonu či rozhlasového přijímače, který připojíme ke vstupním zdířkám zesilovače. Z reproduktoru bude slyšet zesílený signál. Obdobně při doteku prstem na „živém" vstupu zesilovače, tj. na záporném pólu kondenzátoru C_3, bude z připojeného reproduktoru slyšet brum. Bude-li výstupní signál i při menší hlasitosti slyšitelně zkreslen, kontrolujeme napětí na výstupu IO_1, vývod 12. Mělo by být rovné polovině napájecího napětí. Pokud tomu tak není, je chyba v zapojení, vadný C_6, C_7 nebo C_{11} nebo IO_1.

Po pečlivé kontrole zapojení generátoru na desce s plošnými spoji připojíme spínačem na potenciometru R_{15} přes ampérmetr zmenšené napájecí napětí generátoru. Postupujeme obdobně jako při oživování zesilovače. Odběr samotného generátoru by neměl překročit asi 5 mA při napájecím napětí 9 V. Při správném zapojení by nemělo uvádění do chodu činit žádné potíže. Obvykle začne multivibrátor kmitat hned na první zapojení a spojíme-li jeho výstup s nízkofrekvenčním vstupem zesilovače, bude z připojeného reproduktoru slyšet zesílený signál. Hlasitost lze regulovat oběma potenciometry, R_{15} a R_3. Tranzistory T_1 a T_2 se souměrně „překlápějí" z vodivého do nevodivého stavu s kmitočtem asi 1 kHz a na jejich kolektorech naměříme tedy vlivem R_{14} stejnosměrnou složku rovnou asi třetině napájecího napětí. Je-li na kolektoru tranzistoru nulové napětí nebo napětí blízké více než polovině napájecího napětí, znamená to, že multivibrátor nepracuje. Zkontrolujeme, zda je uzavřena smyčka zpětné vazby a zda jsou v desce zapájeny rezistory správných odporů.

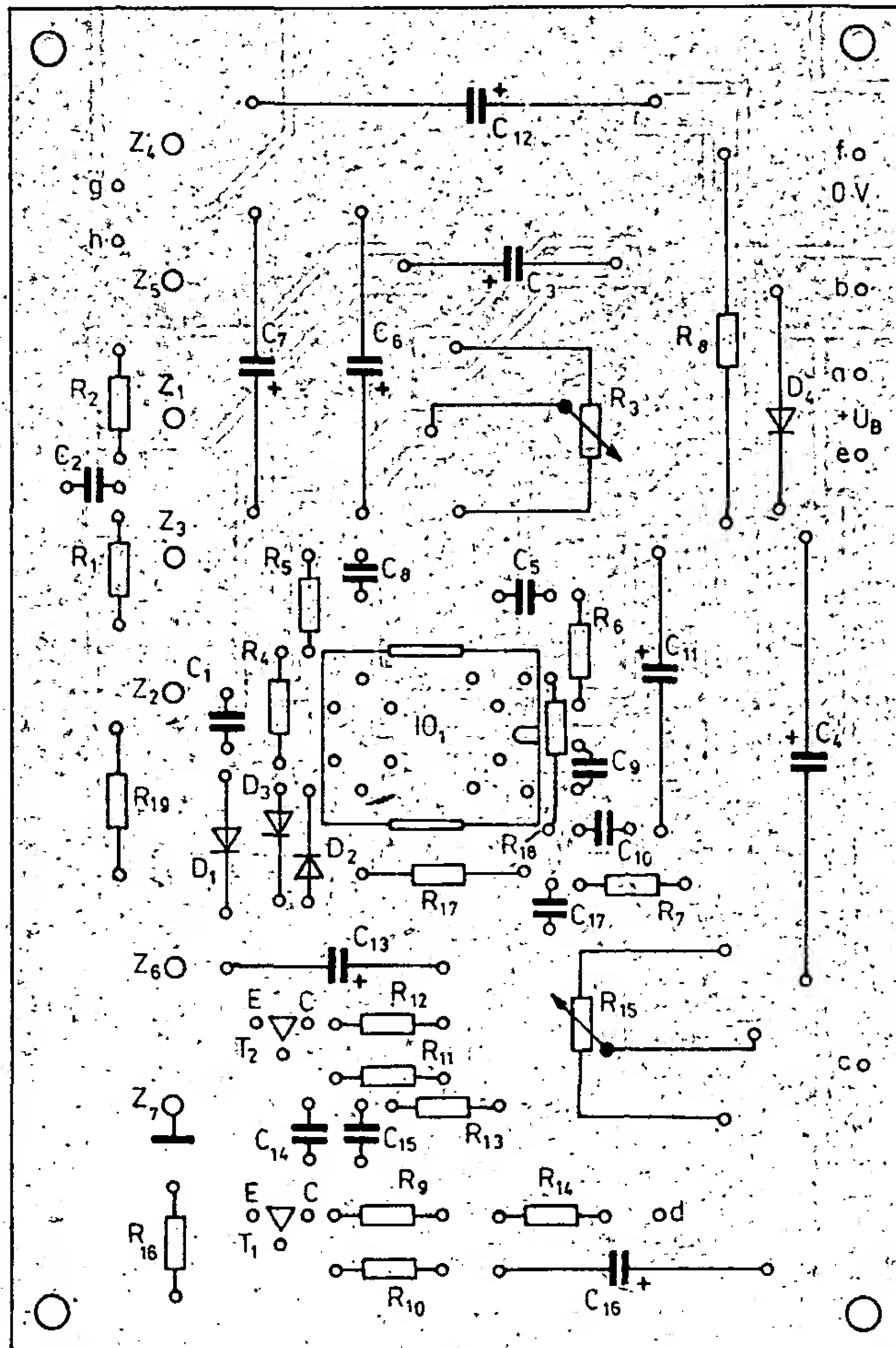
Použití

Sledovač signálu je pro praxi všestranně užitečný přístroj. Samostatný generátor multivibrátoru můžeme s úspěchem použít např. při hledání závad v přijímačích, zesilovačích, magnetofonech. Postupujeme proti cestě signálu, tedy od reproduktoru ke vstupu zesilovače (k anténě přijímače) tak, že výstup multivibrátoru postupně připojujeme do jednotlivých bodů zapojení. Například báze koncového tranzistoru, báze budicího tranzistoru, živý konec regulátoru hlasitosti. Hlasitost zkušebního signálu se přitom musí stále zvětšovat. Pokud zkušební signál mizí nebo slábne, je závada mezi posledními měřicími body. Je tedy vidět, že tímto postupem lze poměrně snadno a rychle vymezit závadu na několik málo součástek.

Použití zesilovače při vyhledávání závad je obdobné. Pracujeme však opačně než s multivibrátorem, protože sledujeme signál směrem od vstupu zařízení až po koncový stupeň nízkofrekvenčního zesi-



Obr. 59. Deska s plošnými spoji S 225 sledovače signálu M 05



Obr. 60. Rozložení součástek sledovače signálu M 05

lovače. Je lhostejné, zda sledujeme zachycený pořad rozhlasového přijímače nebo jiný zvolený signál, či zda zkušební signál vytváříme sami multivibrátorem, jehož signál přivedeme na vstup zkoušeného zařízení. Lze samozřejmě sledovat i signál z magnetofonu či gramofonové desky.

Modul M 05 však nemusí sloužit pouze jako sledovač signálů. S výhodou ho využijeme i jako zesilovače při měření na můstku *RC*. Měříme-li totiž velké odpory nebo malé kapacity, je při vyvažování můstku signál slabý a ve sluchátkách se jeho minimum obtížně určuje. Můžeme proto zesilovač připojit ke zdířkám pro sluchátko a nastavit potřebnou hlasitost při vyvažování můstku *RC* na sledovači signálu.

Použití sledovače jako univerzálního zesilovače pro pokusy s mikrofony, gramofony, magnetofony, rozhlasovými přijímači nebo hlasitým telefonem již ponecháváme na vlastní vynalézavosti čtenáře.

Seznam součástek

Rezistory (není-li uvedeno jinak, typu TR 213 s tolerancemi odporu 10 % nebo jiné miniaturní rezistory)

R_1, R_2	22 kΩ
R_4, R_9, R_{12}, R_{13}, R_{14}	1 kΩ
R_5	56 Ω
R_6	100 Ω
R_7	3,3 Ω
R_{10}, R_{11}	27 kΩ
R_{16}	100 kΩ
R_{17}, R_{18}	2,2 MΩ
R_8	3,9 Ω, TR 152
R_3	100 kΩ/G, potenciometr TP 161, 20A
R_{15}	10 kΩ/N, potenciometr TP 161, 20A

Kondenzátory

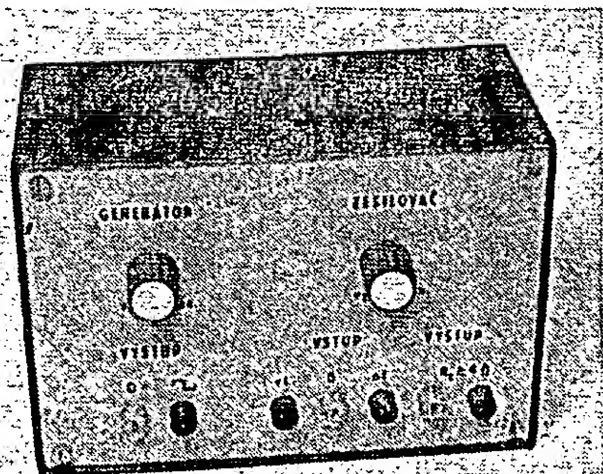
C_1, C_9	470 pF, TK 794
C_2	1 nF, TK 744
C_3, C_{16}	5 μF, TE 986
C_4, C_{12}	1000 μF, TE 984
C_5, C_{10}	100 nF, TK 783
C_6	200 μF, TE 981
C_7, C_{11}	100 μF, TE 984
C_8	3,3 nF, TK 744
C_{13}	20 μF, TE 984
C_{14}, C_{15}, C_{17}	22 nF, TK 783

Polovodičové součástky

D_1	GA203 (KA261 – viz text)
D_2, D_3	KA261 (KA206)
D_4	KY132/80
T_1, T_2	KC508 (KC507, KC509, KC147 až 9)
IO_1	MBA810DS (MBA810S, MBA810)

Ostatní konstrukční součástky

Přístrojový knoflík	WF 243 04, 2 ks
Miniaturní zdířka	6AF 280 30, 7 ks
5pólová pevná zásuvka	6AF 282 10 (6AF 28211)
2pólová pevná zásuvka	6AF 282 28



Hotový modul

Modul reproduktoru M 06

Při práci s elektronickými zařízeními potřebujeme často přeměnit elektrické signály na signály akustické. Například při práci se sledovačem signálu posloucháme zesílený signál z reproduktoru, podobně při vyvažování můstku je možné využít sluchátek nebo reproduktor se zesilovačem. Volně položený reproduktor připojený dvěma vodiči nepatří na stůl amatéra-elektronika. Nevhodným dotykem neizolovaných částí přívodů může způsobit závadu v zařízení, navíc se může snadno i mechanicky poškodit membrána reproduktoru. Akustických vlastností reproduktoru lépe využijeme vestavěním do skříňky.

Základní technické údaje

Impedance: asi 8 Ω.
Trvalý zatěžovací výkon: asi 0,5 W.
Ochrana: tavnou pojistkou.

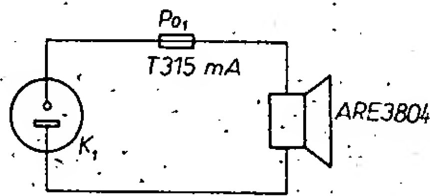
Popis zapojení

Při volbě vhodného typu reproduktoru jsme vyšli ze zvolených rozměrů modulového krytu 125×85 mm a z modulu M 05 – sledovače signálu, ke kterému bude modul reproduktoru nejčastěji připojován.

Při návrhu modulu s reproduktorem pro nejrůznější pokusná zapojení je vhodné věnovat zvětšenou pozornost možnosti výkonového přetížení cívky reproduktoru. Cívka je důkladně zkoušena již výrobcem. Je zatěžována signálem charakteru bílého šumu v nejnepříznivějších podmínkách při okrajové teplotě a při několikanásobném výkonovém přetížení.

V praxi je velmi obtížné ochránit elektroakustický měnič před poškozením, neboť zpracovává signály s velkým dynamickým rozsahem.

Na přetížení nadměrným výkonem nás upozorní velká hlasitost, případně zkreslený zvuk reproduktoru, při přetížení stejnosměrným proudem však uslyšíme jen počáteční „lupnutí" a následné „stejnosměrné" přetížení může vinutí částečně nebo zcela poškodit. Ve většině případů zabráníme poškození tavnou pojistkou. Zapojení modulu M 06 je na obr. 61.



Obr. 61. Schéma zapojení modulu reproduktoru M 06

Pojistka Po_1 chrání cívku reproduktoru při přetížení nadměrným výkonem nebo před poškozením velkým stejnosměrným proudem (např. při poruše oddělovacího elektrolytického kondenzátoru ve výkonovém nízkofrekvenčním zesilovači nebo při chybném připojení do bodu se stejnosměrným napětím). Rychlost přerušení pojistky je přímo úměrná velikosti přetížení, čím více bude reproduktor přetížen, tím rychleji se pojistka přeruší.

Montáž a oživení

Vzhledem k jednoduchosti zapojení neobsahuje modul M 06 desku s plošnými spoji. Distanční sloupky spojující štítek se zadním panelem mají délku 51,5 mm. Ve štítku jsou vyvrtány díry a štítek je pak zakryt průzvučnou tkaninou. Reproduktor není ke štítku připevněn, jeho poloha je vymezena distančními sloupky a zezadu je přitlačován přes molitanový polštářek zadním panelem. Tavná pojistková vložka je umístěna v pojistkovém pouzdře na zadním panelu modulu. Vývod je kablíkem dírou v zadním panelu. Kablík je zakončen konektorem, používaným v nf technice pro připojení reproduktorů a reproduktorových soustav.

Použití

Modul reproduktoru M 06 je určen především pro modul sledovače signálu M 05 a pro experimentální práce s nf zesilovači. Může však sloužit jako univerzální elektroakustický měnič pro nejrůznější zařízení. Tavná pojistka zmenšuje nebezpečí poškození cívky reproduktoru při přetížení.

Seznam součástek

Reproduktor ARE 3804
Pojistková vložka T 315 mA
Držák pojistky
Přívodní dvojlinka
Konektor „reproduktorový" 1AF 895 57

Měřič odporů M 09

Modul tvoří ve spojení s vhodným měřidlem přímoukazující ohmetr s lineární stupnicí. Umožňuje snadno a rychle měřit odpor od jednotek ohmů až do 10 MΩ v šesti dekadických rozsazích. Přesnost měření je ovlivněna především přesností použitého měřidla, kterým může být univerzální měřidlo nebo libovolný mikroampérmetr s citlivostí 50 až 200 μA pro plnou výchylku. Při použití měřidla třídy přesnosti 2,5 % je dosažitelná přesnost měření až 5 % z plné výchylky měřidla, což pro běžné požadavky plně vyhovuje.

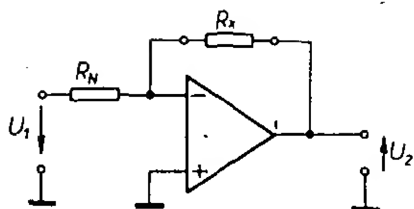
Ohmmetr pracuje v širokém rozsahu napájecích napětí se zanedbatelným vlivem na přesnost měření a bez nutnosti opakovat kalibraci. Malý odběr proudu umožňuje i napájení z baterie.

Základní technické údaje

Napájecí napětí: 7,5 až 15 V.
Odběr z napájecího zdroje: menší než 40 mA (rozsah 100 Ω).
menší než 20 mA (ostatní rozsahy).
Měřicí rozsahy:
0 až 100 Ω,
0 až 1 kΩ,
0 až 10 kΩ,
0 až 100 kΩ,
0 až 1 MΩ,
0 až 10 MΩ.
Průběh stupnice: lineární.
Přesnost měření pro měřidlo třídy přesnosti 2,5:
– lepší než 10 % na rozsahu 10 MΩ,
– lepší než 5 % na ostatních rozsazích.
Doporučené měřidlo: mikroampérmetr s citlivostí 50 až 200 μA pro plnou výchylku (viz text), modul M 04.

Popis činnosti

Ohmmetr využívá integrovaného operačního zesilovače MAA741 ve funkci invertujícího zesilovače napětí (obr. 62). Měřený rezistor je zapojen ve zpětné

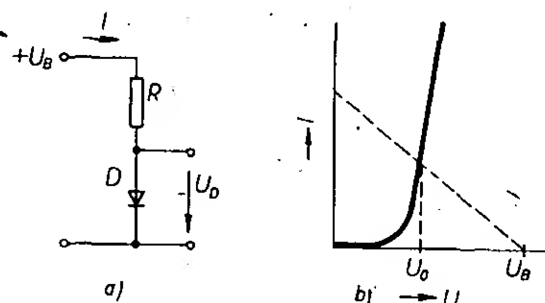


Obr. 62. Princip měření odporu měřiče odporu v M 09

vazbě operačního zesilovače. Pro výstupní napětí U_2 platí

$$U_2 = U_1 \frac{R_x}{R_n}$$

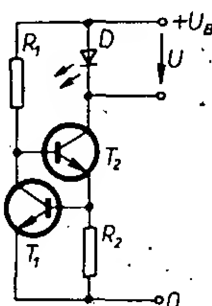
Přivedeme-li na vstup zesilovače konstantní (stabilizované) napětí U_1 a bude-li odpor R_n konstantní, pak bude výstupní napětí U_2 přímo úměrné měřenému odporu R_x. Z velikosti výstupního napětí U_2 můžeme tedy určit odpor R_x. Pro měření potřebujeme *zdroj stabilního napětí.* U_1. K tomuto účelu využíváme vlastností ampérvoltové charakteristiky polovodičové diody zapojené v propustném směru (obr. 63a, b). Prochází-li polovodičovou diodou takový proud, že pracovní bod leží na strmé části charakteristiky, mění se napětí



Obr. 63. Dioda jako zdroj konstantního napětí

U na jejích svorkách jen málo. Toto napětí je přibližně 0,7 až 0,8 V pro diody křemíkové (KA261, KY130, KY132 apod.) a asi 0,2 až 0,4 V pro diody germaniové (GA201, GA203 apod.). Z obr. 63b je vidět, že čím bude charakteristika diody strmější, tím méně se při změnách proudu *I* bude měnit napětí na diodě.

V našem zapojení používáme k získání stabilizovaného napětí U_1 červeně svítící svítivou diodu. Má strmou ampérvoltovou charakteristiku, úbytek napětí na ní je asi 1,6 až 1,8 V. Slouží současně k indikaci zapnutí ohmmetru. Budeme-li provozovat zapojení v širokém rozsahu napájecích napětí, bude změna napájecího napětí způsobovat změnu proudu protékajícího diodou a tím i malé změny napětí *U* na svítivé diodě. Kolísání proudu potlačíme vřazením stabilizátoru proudu do série s diodou místo rezistoru R. Říkáme, že svítivou diodu budeme napájet ze zdroje konstantního proudu. Osvědčené zapojení z obr. 64 má i přes svoji jednoduchost velmi dobré vlastnosti. Ani změna napájecího napětí ze 7 na 15 V neovlivní pozorovatelně měřený údaj.



Obr. 64. Zdroj konstantního proudu pro svítivou diodu

Celkové schéma zapojení přímoukazujícího ohmmetru je na obr. 65. Napětí U_1 ze svítivé diody D_1 přivádíme na vstup invertujícího operačního zesilovače, tvořeného integrovaným obvodem IO_1, přepínatelnými rezistory R_3 až R_9 a měřeným rezistorem R_x. Měřený rezistor R_x je zapojen ve zpětné vazbě operačního zesilovače a přímo určuje napěťové zesílení. Rezistory R_3 až R_9 jsou voleny tak, aby pro každý rozsah bylo zesílení nula až jedna. Pro R_x = 0 bude zesílení operačního zesilovače nulové, a např. na rozsahu 1 kΩ bude pro R_x = 300 Ω zesílení 300/1000 = 0,3; pro plný rozsah R_x = 1000 Ω bude zesílení rovno 1000/1000 = 1. V posledním případě se tedy na výstupu zesilovače objeví napětí stejné velikosti jako na jeho vstupu, tedy asi 1,6 až 1,8 V (opačné polarity).

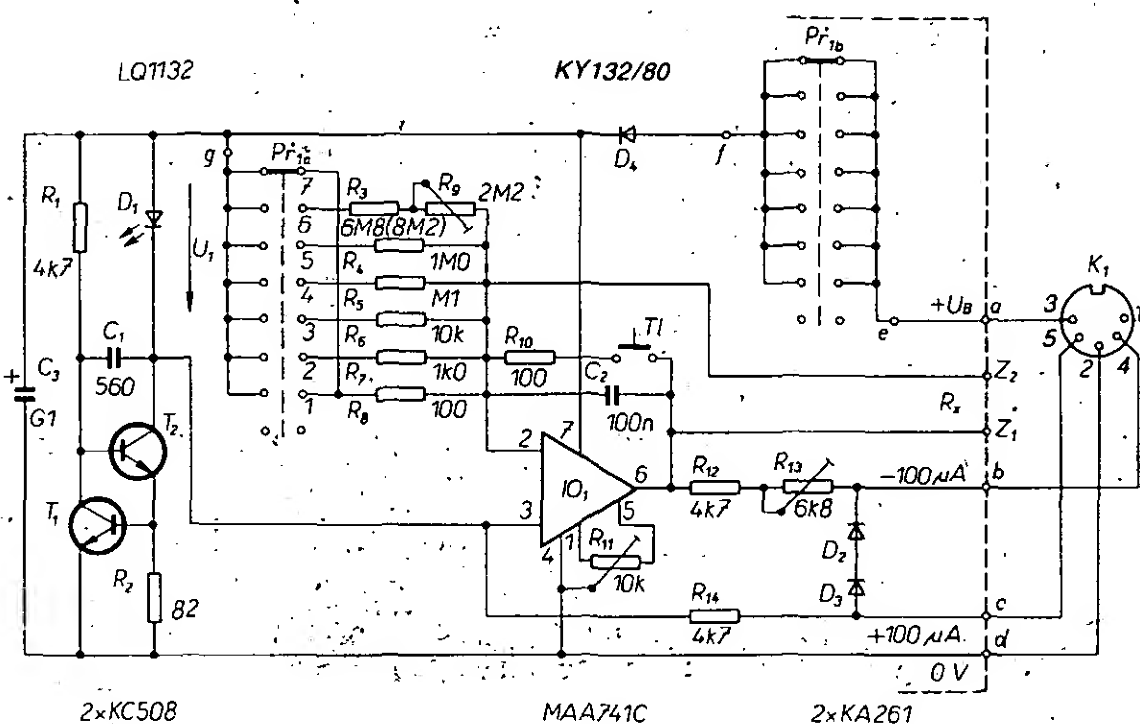
Výstupní napětí zesilovače vyhodnocujeme jednoduchým voltmetrem. Pro měřidlo 100 µA platí odpory předřadných rezistorů R_{12}, R_{13}, R_{14} podle obr. 65. Rezistor R_{13} je proměnný, slouží k základnímu nastavení ohmmetru. Odpory jsou voleny tak, aby bylo možné použít modul univerzálního voltmetru a miliampérmetru M 04 s vnitřním odporem 2,5 kΩ a citlivostí 100 µA. Lze použít i měřidlo s jinou citlivostí nebo s jiným vnitřním odporem. V tom případě bude třeba odpovídajícím způsobem změnit i odpory rezistorů R_{12} a R_{13}. Diody D_2 a D_3 chrání měřidlo před přetížením při rozpojených vstupních zdířkách Z_1 a Z_2. Rezistor R_{14} současně chrání svítivou diodu D_1 před zničením při náhodném zkratu mezi vývodem pro kladný pól měřidla a záporným pólem zdroje. R_{11} je určen pro kompenzaci ofsetu operačního zesilovače. Kondenzátory C_1 a C_2 zamezují vzniku parazitních oscilací. Dioda D_4 chrání ohmmetr při připojení napájecího napětí s nesprávnou polaritou. Tlačítkem „TEST" připojujeme k měřicím svorkám přesný rezistor 100 Ω a máme tedy možnost kdykoli činnost ohmmetru ověřit. Malou odchylku od plné výchylky můžeme upravit trimrem R_{13}. Velká odchylka bývá způsobena zejména nedostatečným napájecím napětím. Tlačítka se tedy využívá současně ke kontrole stavu zdroje – především při bateriovém napájení.

Montáž a oživení

Přímoukazující ohmmetr je postaven na desce s plošnými spoji podle obr. 66. Před osazováním desku s plošnými spoji pečlivě zkontrolujeme, zda nezůstaly mezi jednotlivými spoji vodivé můstky a zkraty a nejsou-li spoje v některých místech přerušeny. Je výhodné, máme-li možnost součástky před osazením do desky změřit. Rozložení součástek na desce je na obr. 67. Na desce je ze strany součástek umístěn i přepínač měřicích rozsahů. Ze strany měděné fólie je připájena svítivá dioda D_1 a tlačítko Tl, zhotovené z páskového vývodu ploché baterie a organického skla podle obr. 44. Osazenou desku pečlivě zkontrolujeme podle schématu zapojení (obr. 65). Je-li vše v pořádku, připojíme měřidlo 100 µA (modul M 04). Ohmmetr připojíme přes ampérmetr nebo vhodnou žárovku nejprve na zmenšené napájecí napětí. Máme-li k dispozici regulovatelný zdroj, nastavíme jeho výstupní napětí na nulu. Napětí napájecího zdroje pomalu zvětšujeme a pozorně sledujeme odebíraný proud. Pokud se nadměrně zvětšuje (vlákno žárovky svítí), ohmmetr odpojíme od napájecího zdroje. V zapojení bude pravděpodobně chyba (kapka cínu mezi spoji, zkrat v přívodu napájení, nesprávně osazená součástka). Nemáme-li k dispozici regulovatelný zdroj, lze zapojení kontrolovat při napájení plochou baterií apod. Je-li vše v pořádku, je proud odebíraný ze zdroje 9 V přibližně 25 až 30 mA na rozsahu 100 Ω. Svítivá dioda D_1 trvale svítí a signalizuje zapnutí ohmmetru. Nastavíme měřicí rozsah 100 Ω a zkratujeme zdířky Z_1 a Z_2 pro měřený rezistor R_x. Měřidlo bude ukazovat nulovou výchylku. Případnou odchylku od nuly vyrovnáme odporovým trimrem R_{11}.

Zdířky pro měřený rezistor R_x rozpojíme a stiskneme tlačítko Tl. Tím se ke zdířkám připojí vnitřní etalonový rezistor 100 Ω. Trimrem R_{13} nyní nastavíme výchylku ručky měřidla na 100. dílek. Kalibrace platí současně i pro vyšší rozsahy.
Pozn.: Při použití jiného než doporučeného měřidla zvětšíme či zmenšíme R_{12} a R_{14}.

Tím je nastavení ohmmetru skončeno, zbývá jen kalibrovat rozsah 10 MΩ. Vzhledem k velké toleranci trimru R_9 a rozdílnému vstupnímu proudu jednotlivých operačních zesilovačů si opatříme dva rezistory, 6,8 MΩ a 8,2 MΩ s tolerancí 5 %. Jeden z rezistorů zapájíme do desky s plošnými spoji a druhý připojíme do měřicích zdířek. Trimrem R_9 nastavíme výchylku ručky měřidla tak, aby odpovídala odporu měřeného rezistoru, tedy 6,8, popř. 8,2 MΩ. Pokud rozsah trimru R_9 nebude stačit, pak podle polohy běžce trimru buď zvětšíme nebo zmenšíme odpor R_9. Ve většině případů vystačíme se záměnou 6,8 a 8,2 MΩ.



Obr. 65. Schéma zapojení měřiče odporu M 09

Použití

Přímoukazující ohmmetr s lineární stupnicí (M 09) použijeme k pohotovému a rychlému měření odporů v rozsahu jednotek ohmů až 10 MΩ. Měření je snadné. Připojíme měřený rezistor ke zdířkám Z_1 a Z_2 a nalezneme rozsah, na kterém lze snadno přečíst jeho odpor, mezi 10 % až 100 % výchylky ručky měřidla. Chceme-li zkontrolovat činnost ohmmetru nebo stav baterií, pak přepneme na rozsah 100 Ω nebo do polohy „TEST" a po stisknutí tlačítka musí ručka měřidla ukázat výchylku 100 dílků při volných měřicích zdířkách. Bude-li výchylka menší, lze usuzovat na špatný stav baterií.

Seznam součástek

Rezistory (není-li uvedeno jinak, typu TR 213 s tolerancemi odporu 10 % nebo jiné miniaturní rezistory)

R_1, R_{12}, R_{14}	4,7 kΩ
R_2	82 Ω
R_3	6,8 MΩ (8,2 MΩ)
R_4	1 MΩ vybraný odpor v toleranci ±1 %
R_5	100 kΩ, TR 191, 100K/F
R_6	10 kΩ, TR 191, 10K/F
R_7	1 kΩ, TR 191, 1K0/F
R_8, R_{10}	100 Ω, TR 191, 100R/F
R_9	2,2 MΩ, trimr TP 040
R_{11}	10 kΩ, trimr TP 040
R_{13}	6,8 kΩ, trimr TP 040

Kondenzátory

C_1	560 pF, TK 794
C_2	100 nF, TK 783
C_3	100 µF, TE 984

Polovodičové součástky

D_1	LQ1132
D_2, D_3	KA261 (KA206)
D_4	KY132/80 (KY130/80)
T_1, T_2	KC508 (KC507, KC509, KC147 až 9)
IO_1	MAA741C (MAA741)

Ostatní konstrukční prvky

Miniaturní otočný přepínač	WK 533 37
Miniaturní zdířka	6AF 280 30, 2 ks
5pólová pevná zásuvka	6AF 282 10 (6AF 282 11), 2 ks
Přístrojový knoflík	WF 243 04

Měřič proudového zesílení tranzistorů M 11

Při běžné amatérské práci obvykle postačuje informativní měření tranzistorů. Nejdůležitějším parametrem je především proudový zesilovací činitel h_{21E}, někdy označovaný jako β. Modul M 11 měřič proudového zesílení tranzistorů umožňuje s dostatečnou přesností měřit proudový zesilovací činitel h_{21E} jednoduchým a rychlým způsobem. Jeho hlavní předností je, že k měření není třeba používat ručkový měřicí přístroj.

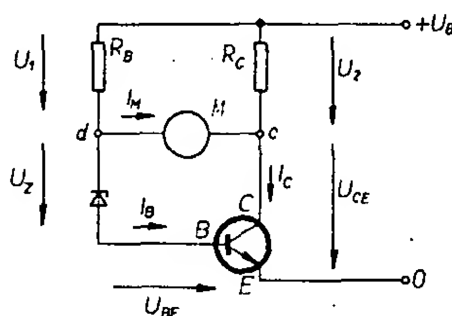
Základní technické údaje

Napájecí napětí U_B: 7 až 15 V.
Odběr z napájecího zdroje (U_B = 12 V) menší než 20 mA.
Měřený rozsah proudového zesilovacího činitele: min. 10, max. 510 (podle použitého potenciometru R_2) pro R_2 = 500 kΩ.
Pracovní bod měřeného tranzistoru U_{CE} pro D_1, D_2 = KZZ71: asi 6,5 až 8 V, I_C při U_B = 8 V asi 2 mA, při U_B = 15 V asi 10 mA.
Měřené tranzistory: bipolární typu n-p-n i p-n-p zbytkový proud menší než 200 µA.

Popis zapojení

Statický proudový zesilovací činitel β tranzistoru je definován jako poměr stejnosměrného proudu kolektoru I_C a stejnosměrného proudu báze I_B tranzistoru, tedy

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}.$$



Obr. 68. Princip měření proudového zesilovacího činitele

Je-li v zapojení podle obr. 68 proud měřidlem I_M nulový, pak platí:

$$U_1 = U_2$$
$$I_C = U_2/R_C \quad (1),$$

a $$I_B = U_1/R_B \quad (2).$$

Vyjádříme-li proudový zesilovací činitel z (1) a (2), získáváme:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{R_B}{R_C} \quad (3).$$

Bude-li kolektorový odpor R_C konstantní, je ve vyváženém stavu odpor R_B přímo úměrný proudovému zesílení měřeného tranzistoru. Zvolíme-li R_C = 1 kΩ, pak odpor R_B vyjádřený v kiloohmech je číselně roven přímo proudovému zesílení tranzistoru. Nahradíme-li rezistor R_B potenciometrem, lze jeho stupnici ohmmetrem cejchovat přímo ve velikostech proudového zesilovacího činitele.

Přesnost měření proudového zesilovacího činitele značně závisí na přesném nastavení $U_1 = U_2$ (I_M = 0). Při měření tranzistorů s velkým zesilovacím činitelem je proud báze I_B i proud měřidlem značně malý a je třeba použít měřidlo s citlivostí −10/0/10 µA pro plnou výchylku. Výsledek měření dále ovlivňuje i zbytkový proud I_{CE0} tranzistoru, který má být zanedbatelný proti proudu kolektoru I_C. Tato podmínka je splněna u křemíkových tranzistorů, u germaniových tranzistorů způsobuje zbytkový proud I_{CE0} menší než 500 µA při měření s I_C = 10 mA přídavnou chybu menší než 5 %.

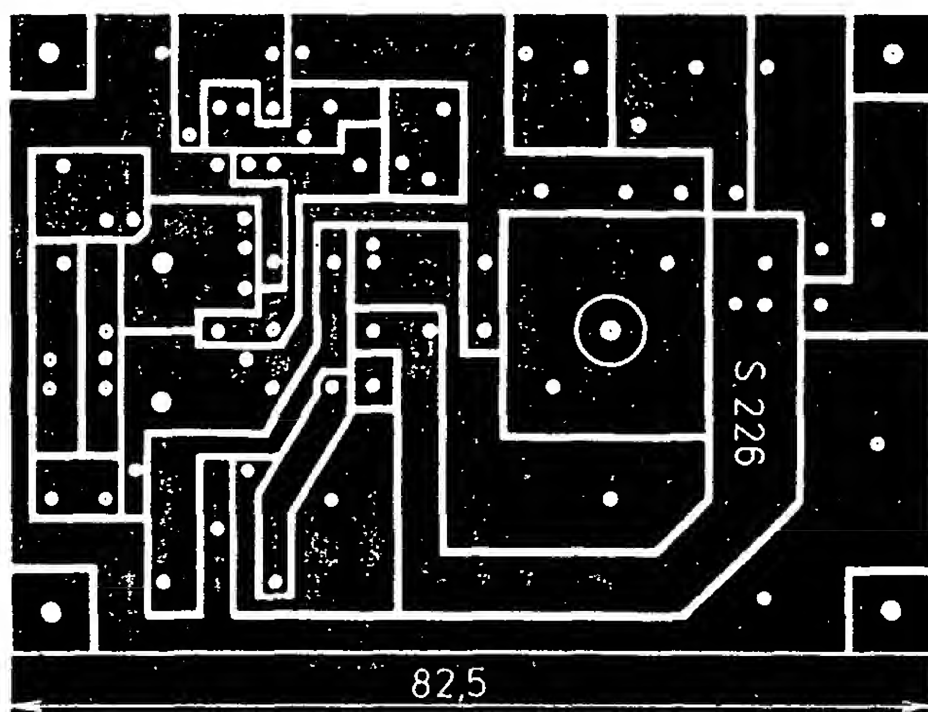
Proudový zesilovací činitel závisí i na pracovním bodu tranzistoru a je tedy třeba, aby napětí kolektor – emitor (U_{CE}) a kolektorový proud I_C byly dané pevně. V obvodu z obr. 68 je při I_M = 0 pracovní bod určen takto:

$$U_{CE} = U_Z + U_{BE} \quad (4),$$

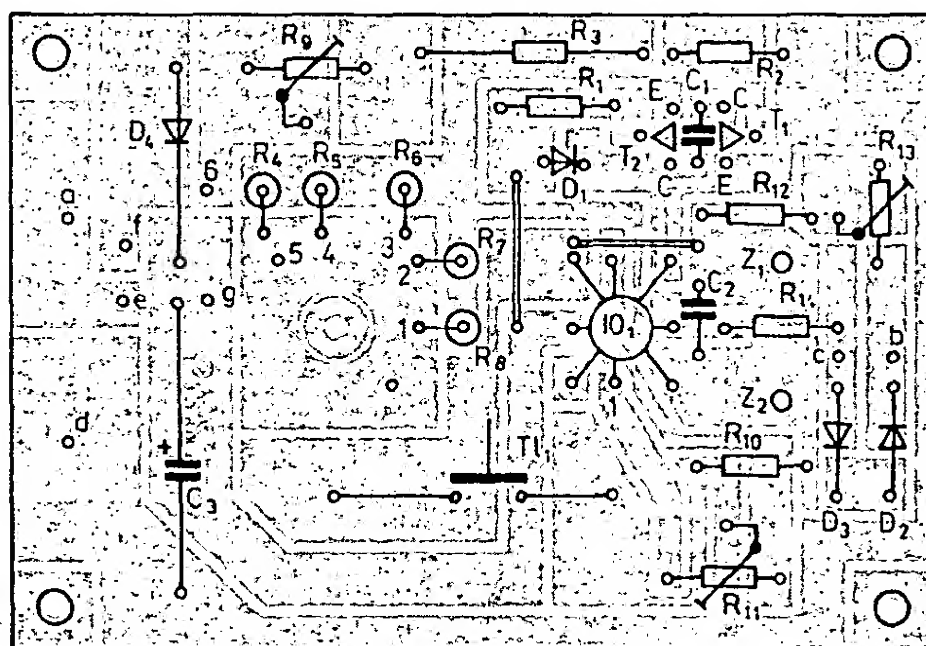
$$I_C = (U_B - U_{CE})/R_C \quad (5).$$

To znamená, že napětí U_{CE} měřeného tranzistoru lze určit volbou použité Zenerovy diody a kolektorový proud I_C volbou velikosti napájecího napětí U_B. Pro U_Z = konst. a U_B = konst. je pracovní bod měřeného tranzistoru určen pevně.

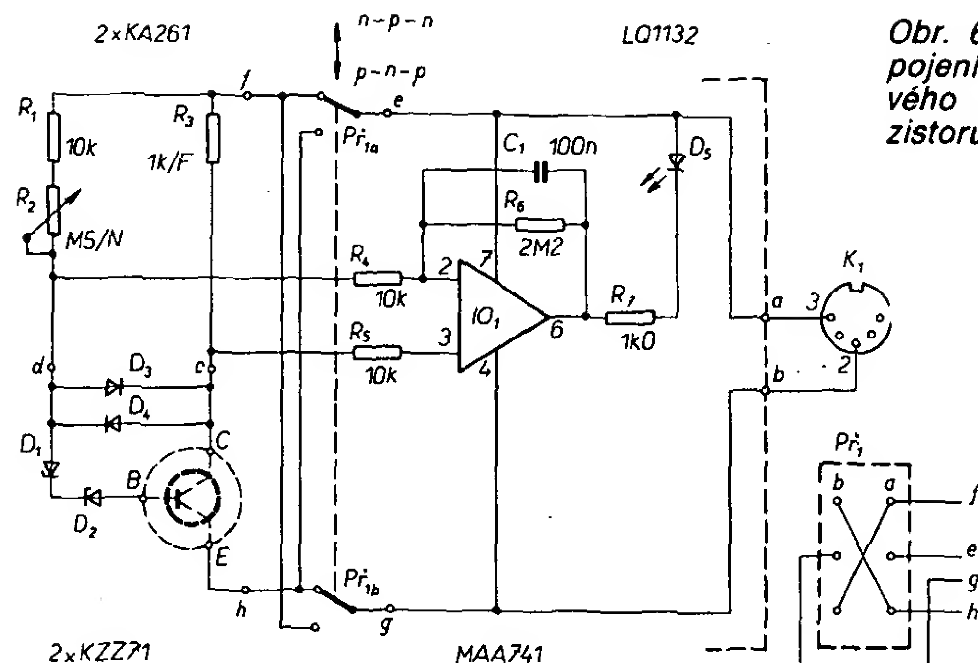
Skutečné zapojení měřiče proudového zesílení tranzistorů je na obr. 69. Místo měřidla je k vyhodnocování vyváženého stavu ($U_1 = U_2$) použit jednoduchý komparátor s operačním zesilovačem



Obr. 66. Deska s plošnými spoji S 226 měřiče odporu M 09



Obr. 67. Rozložení součástek měřiče odporu M 09 na desce S 226



Obr. 69. Schéma zapojení měřiče proudového zesílení tranzistorů M 11

MAA741. Vyvážení můstku ($U_1 = U_2$) odpovídá stav, kdy se svítivá dioda D_5 právě rozsvěcuje, popř. právě zhasíná. Přepínač $Př_1$ slouží k volbě typu měřeného tranzistoru (n-p-n, p-n-p). Kolektorový proud I_C lze měnit změnou napájecího napětí; napětí 8 až 15 V odpovídá při $U_Z = 5$ V kolektorový proud asi 2 až 10 mA.

Montáž a oživení

Všechny součástky měřiče proudového zesilovacího činitele tranzistorů jsou na desce s plošnými spoji (obr. 70). Přesto, že zapojení je velmi jednoduché, dodržíme i v tomto případě hlavně montážní zásady. Ještě než začneme do desky osazovat součástky, důkladně zkontrolujeme prosvětlením kvalitu jejího odleptání, zda mezi vodivými cestami nezůstaly vodivé můstky či zkraty, nebo naopak, není-li měděná fólie někde přerušena.

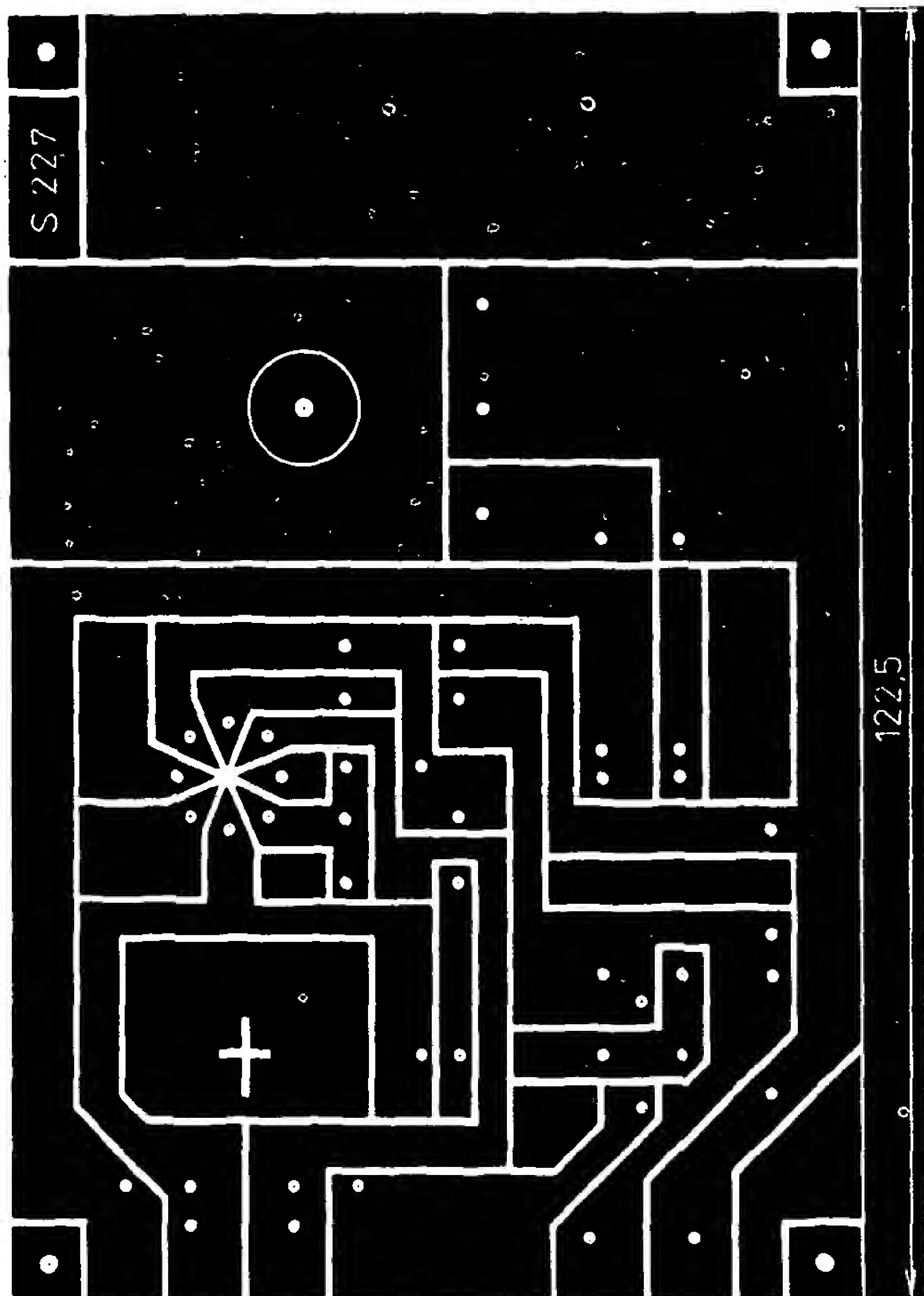
Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je na obr. 71. Potenciometr je uchycen k desce tak, že jeho hřídel je na straně měděné fólie. Z této strany je rovněž pájena i svítivá dioda D5 a objímka pro měřený tranzistor. Vývody objímky však musíme prodloužit tak, aby byla v úrovni čelního štítku. Při prodloužení si pomůžeme například drátem z pájecí smyčky, který zapájíme do desky a objímku pro měřený tranzistor připájíme až na drátové prodloužení. Přepínač $Př_1$ je s deskou propojen drátovými spojkami.

Uvedení do chodu nebude činit potíže, přesto však připojíme modul nejprve přes ampérmetr na zmenšené napájecí napětí a kontrolou odebíraného proudu ověříme, zda se v zapojení nevyskytují zkraty.

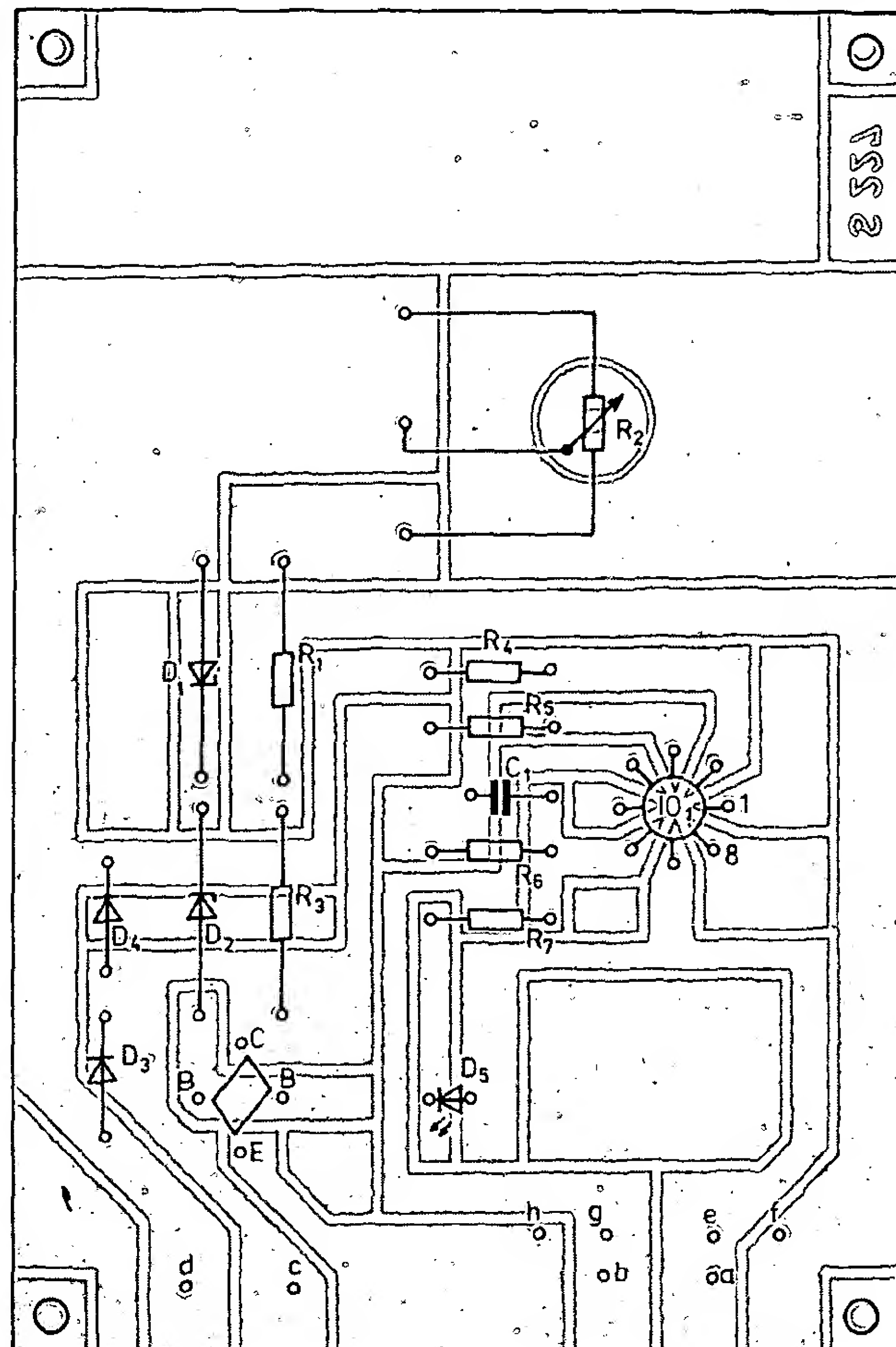
Při kalibraci vystačíme pouze s ohmmetrem. Ze vztahu (3) vyplývá, že při R = 1 kΩ bude odpor sériové kombinace $R_1 + R_2$ vyjádřený v kiloohmmech číselně roven přímo proudovému zesilovacímu činiteli β tranzistoru. Ohmmetrem budeme tedy měřit odpor sériové kombinace $R_1 + R_2$ a vynášet v kiloohmmech přímo na stupnici na štítku měřiče M 11. Pozor! Použijeme-li k měření odporu $R_1 + R_2$ modul M 09, nesmí být modul M 11 připojen ke společnému napájecímu zdroji! Vzhledem ke značné výrobní toleranci odporu potenciometru (±20 %) není vhodné stupnici určovat jinak než měřením skutečného odporu ($R_1 + R_2$) ohmmetrem (například M 09). S rezistorem R_1 = 10 kΩ a lineárním potenciometrem R_2 = 500 kΩ je měřicí rozsah proudového zesilovacího činitele β od 10 do 510, stupnice má lineární průběh. Není nezbytně nutné dodržet toleranci R_3 = 1 kΩ ±1 %, pak však musíme při kreslení stupnice vycházet přímo ze vztahu $\beta = (R_1 + R_2)/R_3$. Nakreslením stupnice je kalibrace měřiče M 11 skončena.

Použití

Modul připojíme k napájecímu zdroji, kterým mohou být dvě ploché baterie, ale např. i pevný zdroj M 02 nebo regulovatelný zdroj M 01. Přepínačem $Př_1$ zvolíme typ tranzistoru (n-p-n, p-n-p), který chceme měřit. Měřený tranzistor zasuneme do objímky a otáčením hřídele potenciometru R_2 vyhledáme bod, kde se svítivá dioda D_5 právě rozsvěcí, popř. právě zhasíná. Na stupnici modulu čteme pak přímo velikost měřeného proudového zesilovacího činitele. Při použití Zenerových diod KZZ71



Obr. 70. Deska s plošnými spoji S 227 měřiče proudového zesílení tranzistorů M 11



Obr. 71. Rozložení součástek měřiče proudového zesílení tranzistorů M 11 na desce S 227

a napájecího napětí U_B = 9 V (např. 2 ploché baterie) měříme proudový zesilovací činitel v pracovním bodě přibližně U_{CE} = 5 V; I_C = 4 mA.

Seznam součástek

Rezistory (není-li uvedeno jinak, typu TR 213 s tolerancí 10 % nebo jiné miniaturní rezistory)

R_1, R_4, R_5	10 kΩ
R_3	1 kΩ, TR 161 (TR 191, TR 192), 1K0/F nebo odpor vybraný v toleranci ±1 % z rezistorů typu TR 213
R_6	2,2 MΩ
R_7	1 kΩ
R_2	500 kΩ, TP 280, M5/N

Kondenzátory

C_1	100 nF, TK 783

Polovodičové součástky

D_1, D_2	KZZ71 (KZ721)
D_3, D_4	KA261 (KA206)
D_5	LQ1132
IO_1	MAA741

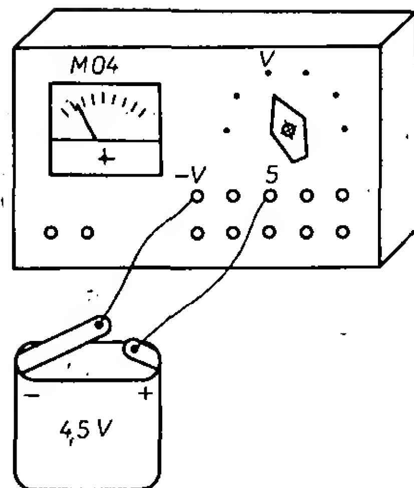
Ostatní konstrukční prvky

Páčkový přepínač dvoupólový
Přístrojový knoflík WF 243 20
Objímka pro tranzistor v pouzdru typu K505 se 4 vývody na ∅ 5 mm, 1 ks
5pólová pevná zásuvka 6AF 282 10 (6AF 282 11), 2 ks

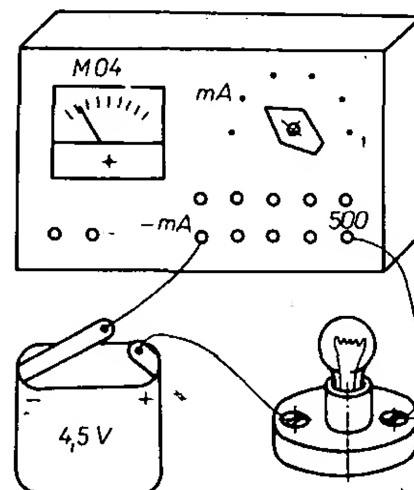
Shrnutí

Popsaná řada modulů není definitivní ani uzavřená. Vybrali a seřadili jsme návody tak, jak podle zkušeností považujeme za vhodné budovat postupně měřicí pracoviště amatéra-elektronika. Další rozšiřování už závisí na specializaci zájmu, zaměření a potřebách. Ze všeobecně užitečných a potřebných přístrojů máme v modulovém provedení rozpracován dále přímoukazující měřič kapacity (M 10), nf generátor *RC* (M 13), nf *milivoltmetr* (M 14) a symetrický napájecí zdroj (M 12).

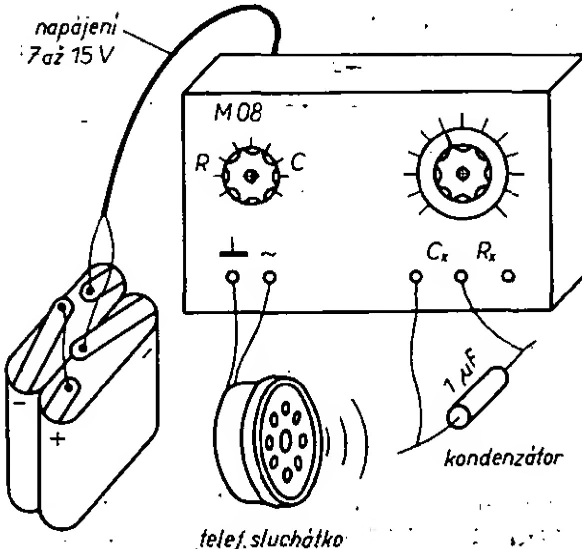
Chtěli jsme popsanou řadou podchytit zájem, umožnit racionálně, levně a jednotně budovat postupně pracoviště a zejména navrhnout ucelenou jednotnou mechanickou koncepci konstrukce přístrojů. Přístrojů sice jednoduchých a levných, ale přitom plně postačujících pro běžnou elektronickou činnost. Jednotlivé moduly lze používat samostatně, ale teprve při jejich spojování a sestavování do měřicího pracoviště vyniknou všechny výhody modulového řešení. Při mechanickém sestavování lze moduly, vestavěné do samostatných skříněk, skládat podle okamžité potřeby vedle sebe i na sebe a propojovat je mezi sebou kabely. Je však



Obr. 72. Měření napětí



Obr. 73. Měření proudu

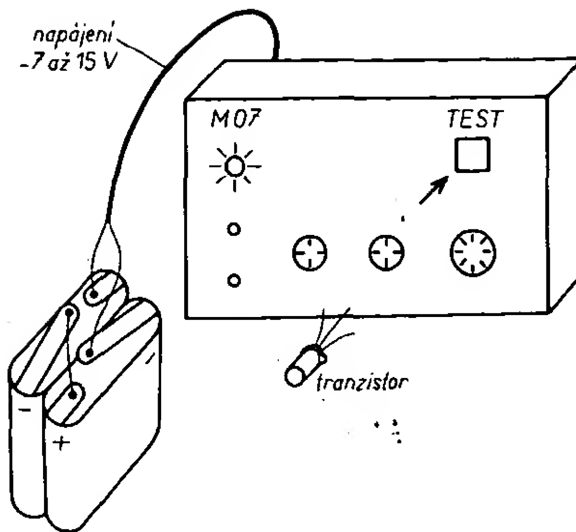


Obr. 74. Měření kapacity a odporu

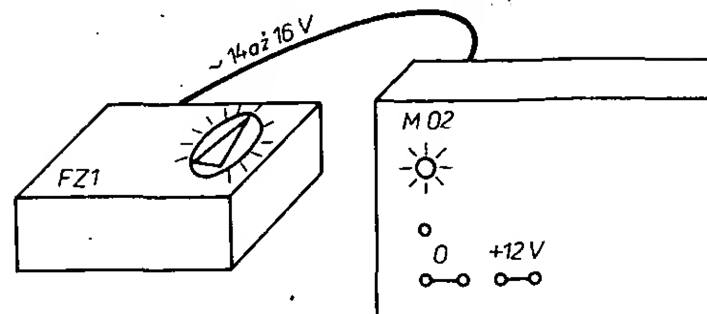
možné určitý soubor modulů vestavět trvale do skříňky z plechu nebo překližky, sololitu apod. a moduly elektricky propojit pevně.

Pro práci s jednotlivými moduly doporučujeme zhotovit si propojovací kablíky. Jejich počet bude určen jednak počtem modulů, které máme k dispozici, jednak skutečnou praktickou potřebou. V příslušenství by neměly chybět následující propojovací kabely:

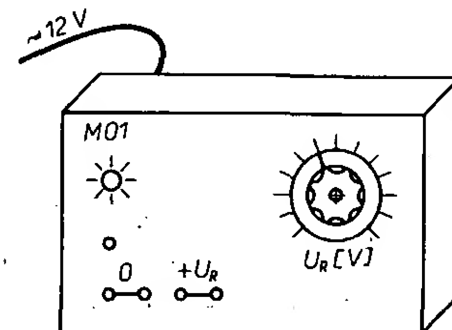
1. Přívod napájecího napětí z baterie nebo transformátoru zhotovíme z běžné



Obr. 75. Zkoušení diod, tranzistorů a operačních zesilovačů



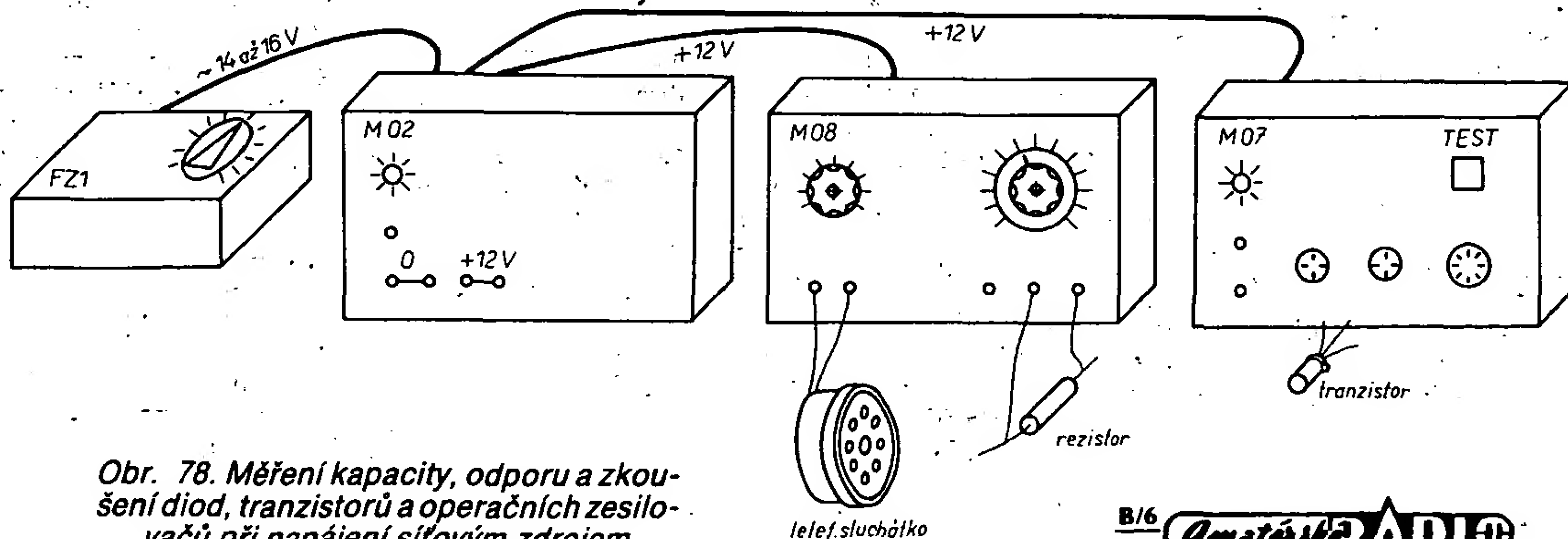
Obr. 76. Zdroj pevného stejnosměrného napětí



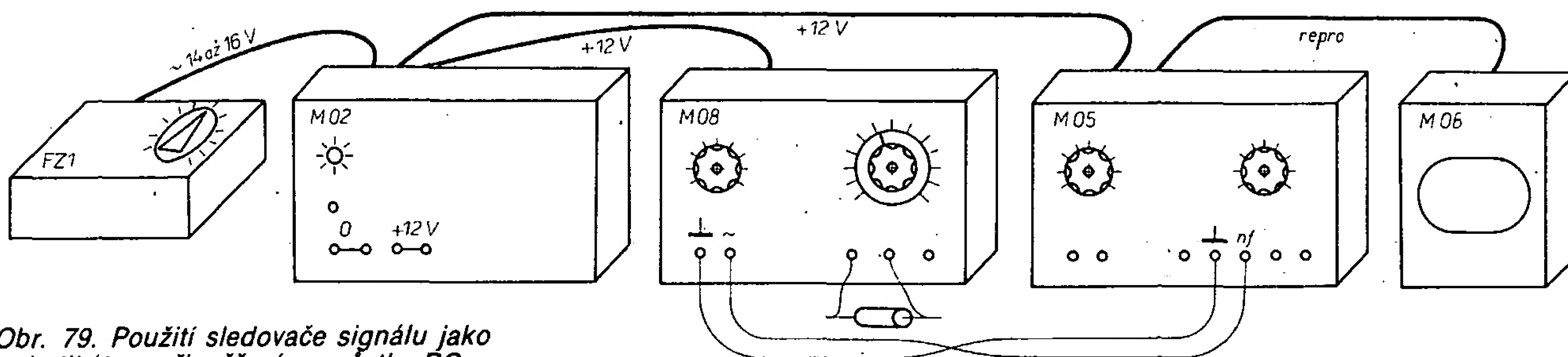
Obr. 77. Zdroj regulovatelného stejnosměrného napětí

síťové dvojlinky délky asi 50 cm. Jeden její konec opatříme tří nebo pětikolíkovým konektorem pro přívod stejnosměrného napětí pro modul, druhý konec opatříme nástrčkami Modela pro plochou baterii. Pro přívod střídavého napětí připojíme k jednomu konci dvojlinky souosý dvoupólový konektor 6AF 89541 pro zasunutí do modulu stabilizátoru M 01 (M 02 nebo M 03). Druhý konec dvojlinky upravíme podle vývodů použitého síťového transformátoru.

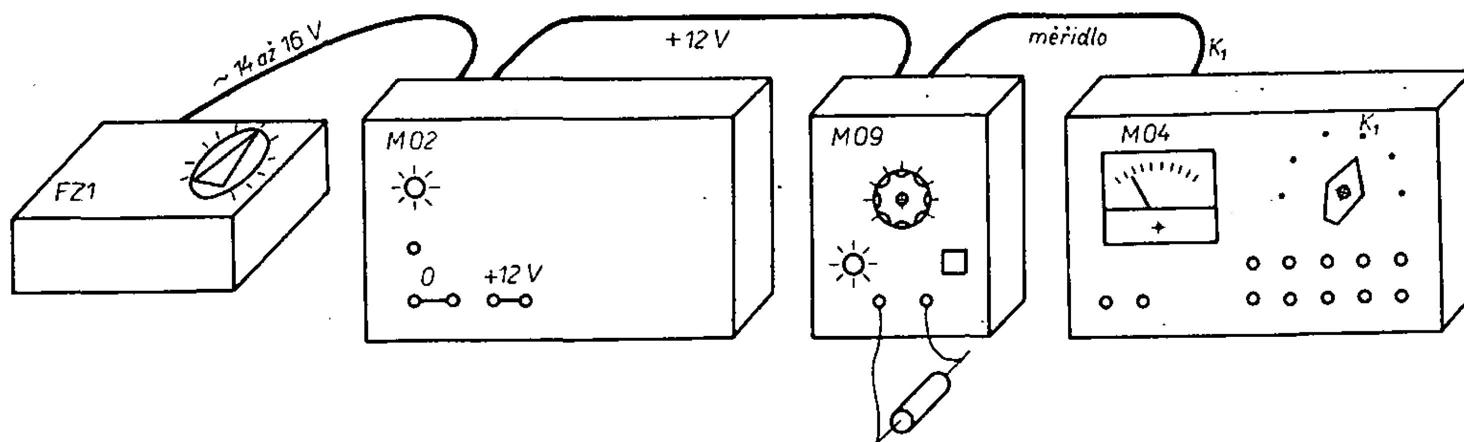
2. Pro rozvod ss napájecího napětí mezi moduly si zhotovíme univerzální propojovací kabel napájení. Síťovou dvojlinku délky asi 50 cm opatříme na obou koncích 3 nebo 5kolíkovými konektory podle obr. 29a. Můžeme využít i „nahrávacího" kabelu dodávaného k magnetofonům. Pro-



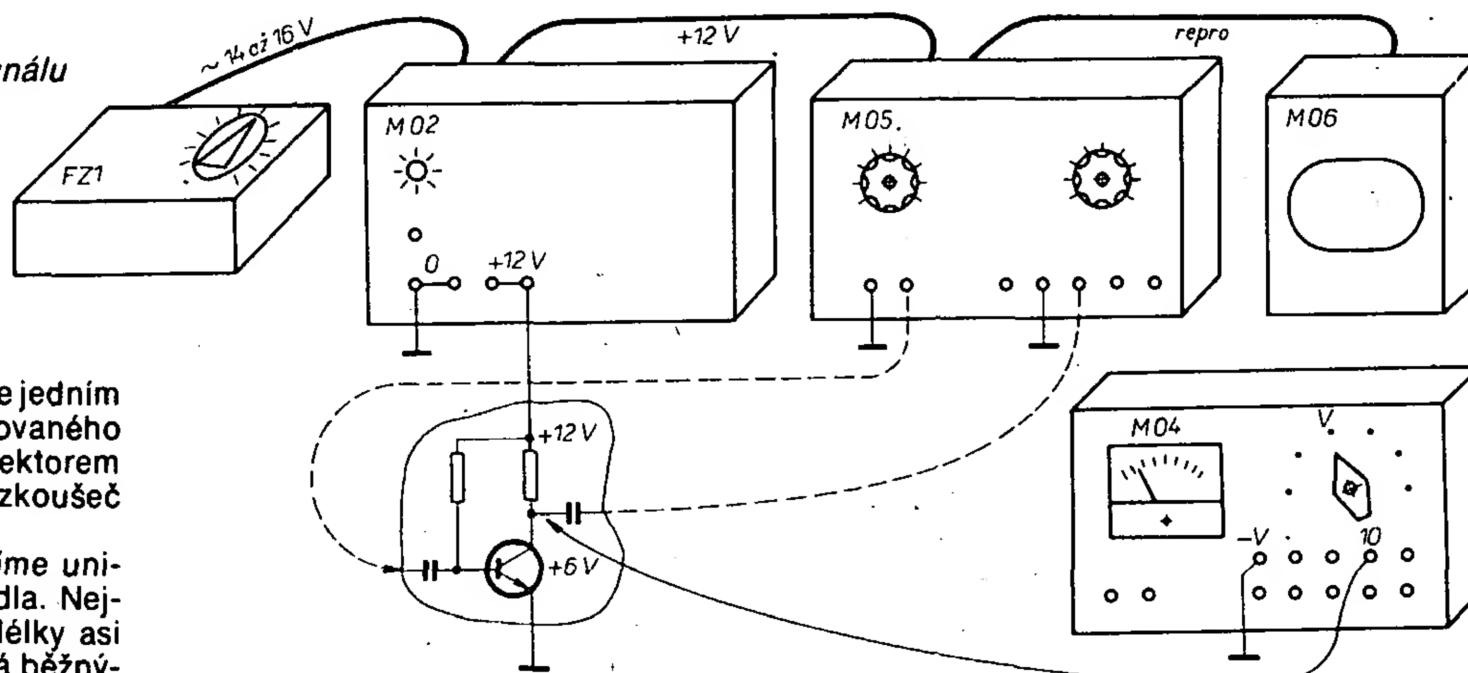
Obr. 78. Měření kapacity, odporu a zkoušení diod, tranzistorů a operačních zesilovačů při napájení síťovým zdrojem



Obr. 79. Použití sledovače signálu jako indikátoru při měření na můstku RC



Obr. 80. Měření odporu přímoukazujícím ohmmetrem



Obr. 81. Práce se sledovačem signálu

pojovací kabel napájení zasuneme jedním konektorem do modulu stabilizovaného zdroje (např. M 02) a druhým konektorem do modulu-spotřebiče (např. zkoušeč tranzistorů M 07).

3. Pro připojení měřidla zhotovíme univerzální propojovací kabel měřidla. Nejvhodnější je stíněná dvojlinka délky asi 50 cm, na obou koncích opatřená běžnými pětikolíkovými konektory zapojenými podle obr. 29b. Rovněž lze použít nahrávací kabel k magnetofonům, jeho zapojení však je třeba upravit podle obr. 29b.

K práci s moduly doporučujeme zhotovit si dále podle potřeby několik kabelů, zakončených miniaturními banánky černé nebo červené barvy (6 AF 89669 nebo 6 AF 896670), krokosvorkami, případně s volným koncem.

4. Kabel miniaturní banánek – miniaturní banánek.

5. Kabel miniaturní banánek – krokosvorka.

6. Kabel miniaturní banánek – volný konec.

Délku zvolíme podle potřeby, obvykle okolo 30 cm. Jako vodič použijeme tenké izolované lanko s různobarevnou izolací.

Příklady použití jednotlivých modulů a jejich propojování jsou na obr. 72 až 81.

2. Zásady pro konstrukci měřicích přístrojů

2.1 Úvod

Konstrukce amatérských měřicích přístrojů se mnohdy vyznačují odvážným, nápaditým moderním řešením a použitím různých netradičních materiálů a součástek. Přesto však mezi amatérskými a profesionálními přístroji je zásadní rozdíl. Ten vidíme v tom, že profesionální přístroje jsou konstruovány nejen z hlediska dosažitelných parametrů, ale i z hlediska technologie zavedené ve výrobním závodě, dostupných a perspektivních součástí a materiálů, které umožní výrobu a opravy přístroje po celou dobu jeho technicko-ekonomické doby života. Přístroje jsou navrhovány také z hlediska bezpečnosti, metrologicky zajišťovány, a jejich vlastnosti jsou jak z bezpečnostní stránky (článek 2.3), tak z metrologického hlediska (článek 2.4) několikrát ověřovány a zkoušeny.

Protože se otázkám vzniku nového přístroje, zkoušek, bezpečnosti a metrologického zabezpečení dosud v AR nevěnovala pozornost, zmíníme se o nich podrobněji.

2.2 Jak vzniká nový měřicí přístroj

Amatér tvoří svůj nový měřicí přístroj obvykle na základě studia literatury. Většinou vychází z jednoho nebo několika návodů s úpravami podle vlastních zkušeností, možností a dostupného materiálu. Profesionální přístroj nemůže vznikat podobným postupem. Příprava výroby nového přístroje se skládá z řady na sebe navazujících etap, sloužících k nalezení technicky i ekonomicky nejvhodnějšího řešení a ověření vlastností připravovaného přístroje.

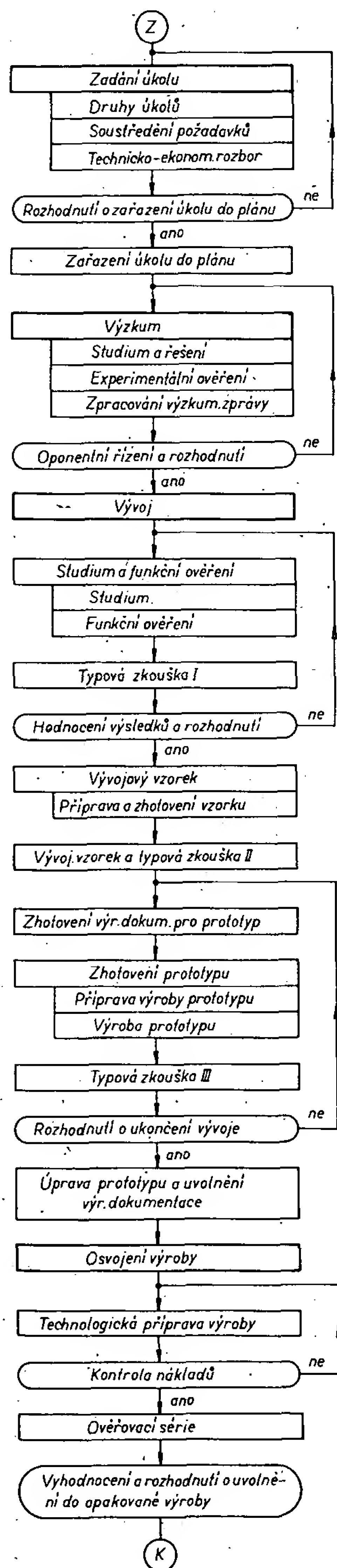
Před zadáním úkolu je nutno soustředit výchozí podklady k technicko-ekonomickém rozboru. Je třeba vyjít z potřeb, z koncepce rozvoje oboru, formulovat cíle, účel, funkci, oblast použití, technické parametry, požadavky na bezpečnostní předpisy, klimatickou odolnost – ale i ekonomické parametry, jako jsou předpokládané výrobní množství a cena, odhad nákladů na vývoj, nářadí a měřicí zařízení.

Výzkumná etapa (úkol) se zadává pouze tehdy, když nejsou obecně platné zákonitosti a závislosti pro řešenou problematiku známy tak, aby bylo možno přistoupit přímo k vývoji.

Vlastní vývoj nového přístroje má několik etap. První může být studium a funkční ověření teoretických předpokladů, které má na funkčním vzorku prokázat reálnost zadaných technických parametrů. Splnění je kontrolováno typovou zkouškou I. V další etapě vzniká vývojový vzorek. Cílem je ověřit realizovatelnost zadaných technických parametrů v navrhované koncepci konstrukčního řešení; kontroluje se typovou zkouškou II. V této etapě je k dispozici již řada podkladů, jako jsou rozpisky, schémata, seznamy součástí a speciálních potřeb. Z návrhu metrologického rozboru musí být zřejmé, jak budou ověřovány parametry přístroje. Ve třetí etapě se zpracovává konstrukční dokumentace se všemi náležitostmi (např. výkresy, rozpisky, kusovníky, výkresy desek s plošnými spoji, grafické řešení štítků, konečný metrologický rozbor, revizní předpis – nastavení a kontroly při výrobě a instrukční knížka), normalizační kontrola. Konstrukční dokumentace je výchozím podkladem pro zhotovení prototypu, který je věrným obrazem hotového výrobku. *Prototyp slouží pro důkladné ověření funkce, technicko-ekonomic-*

kých parametrů a konečného konstrukčního řešení. Proto je podroben typové zkoušce III, která je nejkomplexnější. Touto etapou končí vývoj a nastává etapa osvojení výroby, která se skládá z technologické přípravy výroby a vyrobení ověřovací série.

Zjednodušeně je příprava výroby měřicího přístroje zřejmá z obr. 82. Aby si čtenář mohl udělat představu, jak složité je důkladné prověření vlastností přístroje, zajištění bezpečnosti, správnosti měření, budeme se těmto otázkám věnovat podrobněji.



Obr. 82. Grafické znázornění postupu přípravy výroby elektronického měřicího přístroje

2.3 Typové zkoušky

Jedním z důležitých činitelů, sloužících k ověření, splňuje-li měřicí přístroj požadavky normou a zaručované parametry, jsou podnikové typové zkoušky. Typových zkoušek je několik druhů.

Shrňme z předcházejícího odstavce:

Typová zkouška I se dělá na funkčním vzorku přístroje, který musí v hlavních rysech odpovídat záměru řešení a musí mít elektrické obvody v rozhodujících částech propracované.

Typová zkouška II se dělá na vývojovém vzorku, který musí být vyroben podle vývojových podkladů a konstrukční a elektrické obvody mají mít v podstatě konečná řešení.

Nejzávažnějším podkladem k zavedení výroby je typová zkouška III na prototypu, to je vzorku vyrobeném a nastaveném podle výrobní dokumentace pro prototypy. Ani po ukončení vývoje se nepřestávají sledovat a prověřovat vlastnosti přístroje.

Na vzorku z ověřovací série se dělá typová zkouška IV a typová zkouška V pak na vzorku z opakované výroby. Cílem těchto zkoušek je zajistit co největší jakost výroby.

Společné typovým zkouškám jsou následující zásady:

Typová zkouška se přerušuje při zjištění hlavní nebo kritické vady nebo většího počtu drobných vad. Kritická je ta vada, která vede k nebezpečným následkům pro osoby, které výrobek užívají, nebo jsou v jeho blízkosti. Hlavní vada je ta, která povede k selhání výrobku nebo k podstatnému omezení jeho použitelnosti pro předepsaný účel. Za drobné vady se považují vady menší závažnosti, které nezmenší podstatně použitelnost výrobku.

Typové zkoušky se skládají z řady dílčích zkoušek. Technické parametry se kontrolují nejprve v referenčních podmínkách (23 ±1 °C, vlhkost 45 až 75 %, síťové napětí 220 V ±1 % atd.), potom ve jmenovitých pracovních podmínkách. U elektronických měřicích přístrojů to znamená většinou kontrolu parametrů převážně v teplotách od 0 do 45 °C a v rozsahu síťového napětí 220 V ±10 %. Při vyhodnocování chyb se respektují chyby měřicích zařízení používaných k ověřování tak, jak je popsáno v kapitole o metrologii. Je-li některý parametr udáván bez tolerance nebo s údajem přibližnosti (asi), nesmí chyba přesáhnout 50 %. Kromě funkce a parametrů se dále kontroluje výskyt nežádoucích vlastností. Odrušení se kontroluje podle ČSN 34 2860, při kmitočtech do 30 MHz na svorkách síťového přívodu, pro kmitočty výšší se hodnotí rušivé pole v prostoru. Vliv změny napájecího napětí se posuzuje včetně ostatních účinků. Zásadou je prověřit přístroj za nejnepříznivější situace. To např. u zdroje znamená, že se při největším napájecím napětí (+10 %) i nejvyšší teplotě okolí (40 °C) nesmí ani při největším zatížení (to je největší ztrátě na regulačním tranzistoru) nadměrně oteplovat výkonové prvky, transformátor, skříň apod.

Kvalitu konstrukčního provedení prověří mechanické zkoušky. Střídáním mezních skladovacích teplot (po dobu 16 hodin −40 °C a po dobu 8 hodin +60 °C dvakrát po sobě s dobou přechodu 2 až 3 minuty) se ukáží zejména skryté praskliny v plastických hmotách a další vady materiálů. Rázy se zkouší výrobek jednak v obalu (3000 rázů s přetížením 12 g/6 ms v základní poloze a po 500 rázech ve zbývajících dvou osách), jednak bez obalu (1000 rázů v základní poloze). Výrobek v obalu se dále zkouší pády z výšky 35 cm a překlopením přístroje 2× na každou stěnu. Velmi důležitá je také zkouška chvěním, při níž se pro kmitočty od 10 do 55 Hz nesmí vyskytnout parazitní rezonance žádné části přístroje. Mechanická rezonance by signalizovala místo, které by se v budoucnosti mohlo mechanicky poškodit (poddimenzované nosníky, nedostatečně upevněné součástky, nevhodné šroubové spoje, přívody apod.).

Další náročnou zkouškou je cyklické působení vlhkého tepla. Podle normou stanoveného diagramu působí na přístroj při změně teploty z 25 na 40 °C a zpět vlhkost 90 až 100 %. Při vyšší teplotě pojme vzduch větší množství vlhkosti. Ta pronikne do případných dutin, z nichž se při ochlazení nestačí rychle uvolnit. Ihned po ukončení zkoušky se zkouší bezpečnost a 1 hodinu po zkoušce musí přístroj splňovat zaručované parametry. Hodnotí se i změna a rychlost obnovy původních parametrů. Dále se sleduje velikost, význam a příčiny vzniku koroze.

Mezi nejdůležitější zkoušky patří kontroly základních a hlavních bezpečnostních požadavků podle ČSN 356501. K základním bezpečnostním požadavkům patří kontrola izolačního odporu a kontrola izolace (podrobněji v čl. 2.4).

Mezi hlavní bezpečnostní požadavky patří ochrana před dotykem, zajištění bezpečnosti za běžných pracovních podmínek i při poruchách. Poruchy se „tvoří" záměrně přerušením nebo zkratem (současně však vždy jen jednoho prvku). Vychází se z analýzy zapojení, tj. simulují se závady, které mohou mít nejnepříznivější následky a jejichž výskyt je např. z hlediska spolehlivosti prvků pravděpodobný. V praxi se především zkratovávají usměrňovací diody a elektrolytické kondenzátory ve zdrojové části přístroje. Zkouška nesmí mít za následek kritické vady, porušení bezpečnosti, přístroj ani jeho část se nesmí nadměrně oteplovat, nesmí se poškodit desky s plošnými spoji nebo např. zvětšit napájecí napětí pro logické obvody nad povolenou velikost apod. Teplota vinutí transformátoru nesmí překročit 135 °C.

Hlediska základních a hlavních bezpečnostních požadavků by měla být respektována i v každé amatérské konstrukci, napájené ze sítě. Je nutné si uvědomit, že amatérské konstrukce publikované v časopisech neprošly typovými zkouškami a často nejsou řešeny správně z bezpečnostních hledisek. Je proto nutné věnovat každému přístroji napájenému ze sítě zvýšenou pozornost. To, že tranzistory a integrované obvody jsou téměř vždy napájeny malým napětím, nenaučilo často naše mladé amatéry doceňovat hlediska bezpečnosti. Lépe jim rozuměly dřívější generace amatérů, které pracovaly s elektronkami a většina z nich poznala citelně účinky anodového napětí doslova na vlastní kůži, a naučila se tím základním bezpečnostním návykům.

Je vhodné se zamýšlet i nad vlivem poruch. Žádná porucha nesmí ovlivnit bezpečnost a nesmí mít za následky ani další větší škody uvnitř přístroje. Bezpečnostní požadavky jsou natolik důležité, že je probereme samostatně v následující kapitole.

Mimo popisované zkoušky existuje ještě řada dalších zkoušek. U ovládacích prvků a mechanismů se zkouší trvanlivost opakováním pracovních cyklů, hodnotí se vnější i vnitřní provedení, ergonomika, splnění konstrukčních zásad.

2.4 Bezpečnostní požadavky na elektronické měřicí přístroje

Stále se ještě setkáváme s tím, že konstruktéři podceňují a neplní bezpečnostní požadavky. To platí nejen pro amatérské, ale někdy i pro profesionální konstrukce tam, kde se nedělá důsledná typová zkouška. Bezpečnostní požadavky a metody zkoušení stanoví závažně nová ČSN 356501 platná od 1. 1. 1985 (odpovídá mezinárodním normám ST SEV 3768-82 a IEC 348 – 1978). Norma platí pro elektronické měřicí přístroje a jejich příslušenství, neplatí pro lékařské přístroje a jiné přístroje zvláštního určení. Norma rozlišuje 4 bezpečnostní třídy přístrojů:
třída 0 – přístroj má pouze základní izolaci a nemá ochrannou svorku;
třída I – přístroj má alespoň základní izolaci a ochrannou svorku. (U přístrojů připojených k síti ohebným kabelem musí být ochranná svorka součástí síťové vidlice nebo přívodky.);
třída II – přístroj bez ochranného uzemnění, ale s jedním z následujících druhů izolace
a) s dvojitou a (nebo) zesílenou izolací všech částí.
b) s dvojitou a (nebo) zesílenou izolací na těch částech, kde je to možné a u těch částí, kde to možné není, s ochrannou impedancí. Má-li přístroj mimo izolaci podle bodu 1 nebo 2 ještě svorku pro ochranné uzemnění, pokládá se za přístroj třídy I. Přístroje třídy II musí být označeny symbolem ⧈ ;
třída III – přístroj určený pro připojování k bezpečnému napětí, který nemá vnitřní nebo vnější obvody na napětí větší než bezpečné.

Izolace proti nebezpečnému napětí rozlišujeme na základní, přídavné (ochranné), dvojité a zesílené. Přídavná izolace doplňuje základní izolaci a chrání před úrazem při průrazu základní izolace. Dvojitá izolace zahrnuje základní a přídavnou izolaci. Zesílená izolace je taková základní izolace, která zabezpečuje stejnou ochranu jako dvojitá izolace.

Dále rozlišujeme část přístroje přímo spojenou s napájecí sítí, v níž při spojení této části s jiným pólem napájecí sítě vznikne ve spojovacím vodiči proud nejméně 9 A při neuzemněném přístroji, a část vodivě spojenou s napájecí sítí, v níž při spojení s jiným pólem sítě přes odpor 2 kΩ proteče špičkový proud větší než 0,7 mA (při neuzemněném přístroji).

Každý přístroj musí být konstruován a vyroben tak, aby nepředstavoval nebezpečí při běžném používání ani v případě poruch. Musí být zajištěna ochrana osob před úrazem elektrickým proudem, nadměrnými teplotami, zářením, uvolněnými plyny, ultrazvukovým tlakem, důsledky exploze nebo imploze a nebezpečím ohně. Musí být plněny požadavky bezpečnostní třídy I, II nebo III. Splnění požadavků se prověřuje zkoušením. Zkouší se při teplotě 15 až 35 °C, vlhkosti 45 až 75 %, napájecím napětí 0,9 až 1,1 jmenovitého, s vyloučením jinovatky, rosy, slunečního záření, při libovolné poloze ovládacích prvků.

Údaj ! na štítku označuje nutnost nejprve se seznámit s údaji v dokumentaci přístroje. Stejnosměrné napájení se značí ⎓ , střídavé ~, možnost ss i stř. napájení ≂. Měřicí zemnicí svorka je označena ⏚ , ochranná ⏚⃝ . Svorka měřicích a řídicích obvodů, spojená s příslušnými vodivými částmi, má symbol ⊥ . Svorky vstupní nebo výstupní, na nichž se může vyskytnout nebezpečné napětí větší než 1 kV, jsou označeny červeným symbolem ϟ . Síťový spínač musí mít označení zapnuté a vypnuté polohy, používat pouze signální světla nelze. „Plovoucí" vstupy a výstupy musí být označeny maximálním povoleným připojeným napětím. V blízkosti držáku pojistek musí být označení jmenovitého proudu a typu výměnných tavných vložek.

Ochrana před působením nadměrných teplot se kontroluje po 4 hodinách provozu. Oteplení vinutí transformátoru Δt se stanoví ze změny odporu měděného vinutí:

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_1}(234{,}5 + t_0) + (t_1 - t_0),$$

kde R_1 a R_2 jsou odpory vinutí v chladném i ohřátém stavu a
t_0 a t_1 teplota okolí na začátku a na konci zkoušky.

Povolené oteplení ostatních částí je dáno tab. 1 v normě ČSN 356501. Např. pro povrch krytu je to 35 °C, nekovové knoflíky 30 °C, chladiče výkonových tranzistorů přístupné dotyku obsluhy 65 °C atd.

Ochrana před implozí se nejčastěji týká obrazovek s ∅ stínítka větším než 16 cm. Pokud nemají obrazovky vlastní ochranu, musí být vybaveny účinným ochranným krytem, který nesmí být možno sejmout rukou a nesmí se dotýkat povrchu obrazovky.

Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Na přístupných částech přístroje nesmí být nebezpečné napětí. Povlaky z laku, emailu, oxidu, anodické vrstvy, neimpregnovaného papíru, vlákniny dřeva a zálivky kompaundem se nepokládají za dostatečnou izolaci pro ochranu před úrazem, protože taková izolace může být porušena popraskáním nebo uvolněním. Zda je přístupná část pod nebezpečným napětím, určíme změřením napětí proti zemi při běžných pracovních podmínkách a uzemněném přístroji. Napětí, měřené voltmetrem s vnitřním odporem 50 kΩ, nesmí být větší než 50 V, proud měřený přes bezindukční rezistor 2 kΩ při větším napětí než 50 V nesmí být větší než 2 mA při ss proudu a 0,7 mA při střídavém proudu 50 Hz, kapacita pro napětí do 450 V nesmí být větší než 0,1 μF, atd.

Vnější části přístroje

Na hřídelích ovládacích a nastavovacích prvků nesmí být nebezpečné napětí (např. při amatérské konstrukci tyristorových nebo triakových regulátorů síťového napětí nesmí být použit jako ovládací prvek přímo kovový hřídel potenciometru!). Otvory ve skříni musí být umístěny tak, aby libovolný nástroj, vzniklý těmito otvory do skříně, se nemohl dotknout části pod nebezpečným napětím – kontroluje se zkušebním kolíkem o ∅ 4 mm délky 100 mm. Proto větrací otvory mívají tvar štěrbin s příčným rozměrem užším než 4 mm. Průměr menší než 4 mm je třeba používat i v amatérských konstrukcích, u nichž se často používají kruhové větrací otvory (díry) příliš velkého průměru. Na částech přístroje, přístupných po sejmutí krytů rukou, nesmí být nebezpečné napětí. Kryty, které se snímají pomocí nástroje a tím se vytvoří přístup k části pod nebezpečným napětím, musí být označeny ⚠ a ϟ .

Konstrukční požadavky

V elektronickém měřicím přístroji se z hlediska bezpečnosti setkáme se dvěma typy obvodů: s obvody spojenými s napájecí sítí a s ostatními obvody. Konstrukce přístroje musí být taková, aby zabraňovala možnosti porušit izolaci mezi částmi obvodů spojených s napájecí sítí a s přístupnými vodivými částmi i při uvolnění spoje. Pevnost připojení vodičů, které jsou mechanicky namáhány, nesmí záviset na pájení. Při pájení do očka se požaduje zahnutí vodiče do tvaru U. Pevnost spojů musí být zabezpečena např. kabelovými svázky. Šrouby musí být zajištěny proti vypadnutí. Výměnné části zajišťující izolační vzdušné vzdálenosti a povrchové cesty musí být konstruovány tak, aby bylo vyloučeno jejich nesprávné vestavění.

Přístroje bezpečnostní třídy I s vodivými částmi přístupnými dotyku, na které může proniknout nebezpečné napětí v případě poruch, musí být elektricky spojeny s ochrannou svorkou (například kovová skříň přes síťovou přívodku s kolíkem síťové zásuvky). Kontroluje se proudem 25 A. Spojení kovovým opletením propojovacích kabelů nepostačuje.

Přístroje bezpečnostní třídy II nesmí mít ochrannou svorku, je však povoleno užití měřicí zemnicí svorky. Nejčastěji jsou to přístroje s dvojitou nebo zesílenou izolací a s izolačním krytem, mající tuhý a souvislý kryt z izolačního materiálu, kryjící všechny vodivé části s výjimkou nevelkých prvků (štítky, šrouby), které jsou izolovány od prvků pod napětím izolací ekvivalentní zesílené izolaci.

Přístroje bezpečnostní třídy III nesmí mít ochrannou svorku.

Izolace

Odpor izolace mezi zkratovanými síťovými obvody a všemi ostatními obvody přístroje musí být pro přístroje s napájecím napětím do 500 V nejméně 2 MΩ pro základní izolaci přístrojů bezpečnostní třídy I a II, 5 MΩ pro přídavnou izolaci a 7 MΩ pro dvojitou a zesílenou izolaci. Izolace musí být podrobena zkoušce napětím. Pro přístroje bezpečnostní třídy I s napájecím napětím do 250 V je zkušební střídavé napětí 1500 V 50 Hz po dobu 1 minuty. Při zkoušce se nesmí odpojovat odrušovací kondenzátory.

Zkušební poruchy

Zkušební poruchy prověřují, že uživatel přístroje nemůže být případnou poruchou žádné části přístroje ohrožen jak z hlediska bezpečnosti, tak nadměrného oteplení, nebo nebezpečím požáru. Poruchy se vytvářejí u přístrojů bezpečnostní třídy I a II překlenutím izolací z laků, emailů, oxidů a anodických povlaků, prvky mezi síťovými a měřicími obvody se zkratují, sekundární vinutí silových transformátorů se zkratují, atd. Sleduje se působení vždy jen jedné poruchy. Mechanická pevnost se prověřuje zkouškami pádem, chvěním, údery zkušebním kladívkem.

Přístupné svorky pro ohebné vodiče musí být umístěny tak, aby uvolnění jedné ze žil nevyvolalo spojení mezi prvky s různým napětím. Kontroluje se po upevnění několikapramenného lanka odizolovaného 8 mm, kdy jeden volný drátek lanka se nesmí dotknout žádných nežádoucích částí.

Vodiče vnějších síťových přívodů musí mít takový průřez, aby při krátkém spojení na konci přívodu v přístroji nebylo překro-

čeno povolené oteplení přívodu dříve, než se uvede v činnost ochranné zařízení elektrické sítě. Obsahuje-li ohebná síťová šňůra ochranný vodič zeleno-žluté barvy, musí být připojen k ochranné svorce (přístroje bezpečnostní třídy I) a nesmí být použit k jiným účelům.

V tomto přehledu není možné podat úplný přehled bezpečnostních požadavků a předpisů.

Zájemce odkazujeme na ČSN 356501.

2.5 Metrologie

Obecné zásady

Při stavbě měřicích přístrojů se po dokončení montáže a oživení přístroje nastavují. Nejpozději při této příležitosti si musíme položit otázku, s jakou přesností může přístroj měřit. Amatér obvykle podléhá přehnanému optimismu a uvádí dosaženou přesnost podstatně větší, než je skutečná. U této otázky se musíme zastavit podrobněji, protože v radioamatérské literatuře jí nebyla dosud věnována pozornost. Věda o měření a všech dalších souvisejících okolnostech se nazývá metrologie (pozor, není to meteorologie!). Patří do ní veličiny, jejich jednotky, metodika měření a vyhodnocování měření, přístroje a etalony aj. Cílem metrologie je zajistit potřebnou jednotnost a správnost měření.

Dříve, ve starověku a středověku, postačilo zajistit jednotnost měření v menších územních celcích jednotlivých států, státečků nebo knížectví. Rozvoj vědy, techniky a obchodu v minulém století si vynutil snahy po světovém sjednocení, vrcholící v roce 1875 podepsáním mezinárodní konvence o metru v Paříži. Snaha zajistit jednotnost měření vedla k založení mezinárodního úřadu pro míry a váhy BIPM v Sevres u Paříže. V něm byly uloženy mezinárodní prototypy metru i kilogramu a tyto jednotky se na území členských států přenášely tím, že jednotlivé státy předávaly své etalony „k navázání" do BIPM. Při tomto způsobu má obvykle každý stát svůj primární skupinový etalon a cestovní etalon pro srovnání s etalonem BIPM.

Uveďme si jako příklad nejčastěji používanou elektrickou veličinu: ss napětí. Již od minulého století je známo, že jeden speciální druh baterie, nazývaný Westonův článek, dává napětí 1,018 . . . V, které je dlouhodobě stálé, splní-li se určité předpoklady: článek nesmí být zatěžován žádným proudem, nesmí být vystaven otřesům ani kolísání teploty. Vybereme-li z větší skupiny Westonových článků různých výrobců menší skupinu (5 až 10 ks) článků, jejichž vzájemné rozdíly napětí se při dlouhodobém sledování co nejméně mění, získáme tzv. skupinový etalon ss napětí. Vybrané články musíme uchovávat při konstantní teplotě (v termostatu), v prostředí bez otřesů a škodlivých vlivů (klimatizovaná laboratoř). Obvykle se tam, kde na tom více záleží, udržuje ještě další rezervní skupina článků, tzv. svědecký etalon. Takové etalony se porovnávají (srovnání dvou primárních etalonů na stejné úrovni) nebo navazují (přenesení hodnoty od etalonu vyššího stupně, např. z BIPM na národní) cestovním etalonem, což může být v tomto případě např. skupina tří Westonových článků, které se v termostatovém pouzdře pokud možno bez otřesů dopraví na místo srovnání. Cestovní etalon se musí po dopravě nechat ustálit.

Z tohoto zjednodušeného popisu je vidět, že popsaný způsob v sobě skrývá mnoho technických problémů, ovlivňujících dosažitelnou přesnost. Proto se později začala projevovat snaha definovat jednotky jinak, tak, aby každý uživatel (stát) si je mohl na základě této definice realizovat sám. U ss napětí se např. využívá Josephsonova jevu, pojmenovaného po svém objeviteli, který našel teoretický vztah mezi ss napětím, kmitočtem, nábojem elektronu a Planckovou konstantou ve speciálním případě za velmi nízkých teplot. Realizace základního principu je však obvykle velmi složitá a náročná, proto se pro uchovávání jednotek v době mezi základními měřeními používají jako v dříve připomínaném případě skupinové etalony. Pro ss napětí jsou složeny ze sády Westonových článků.

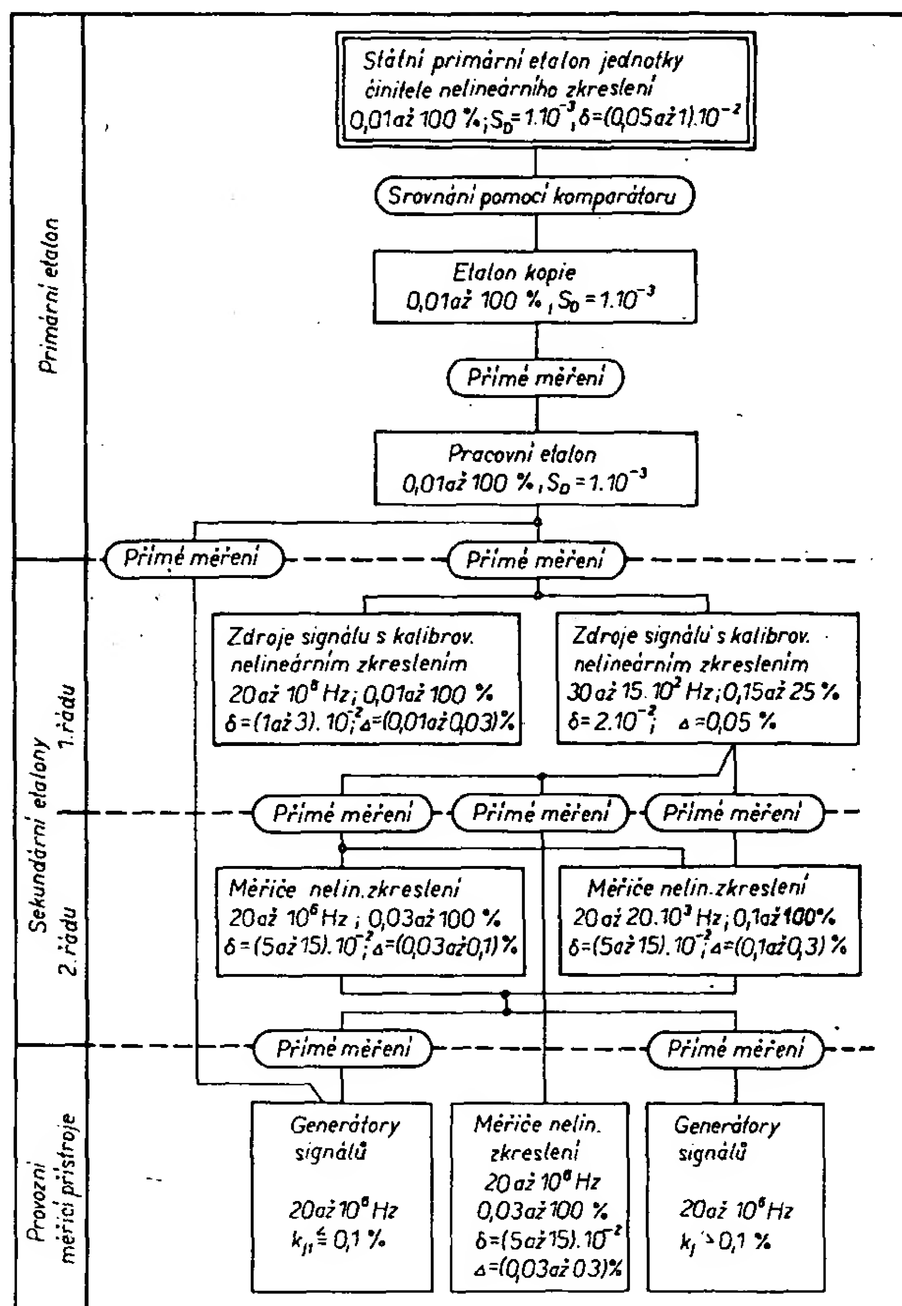
Popsali jsme si na příkladech, jak lze realizovat a uchovávat jednotku určité veličiny. Jak však dostaneme její násobky nebo podíly, neboli jak vytvoříme stupnici? K tomu je třeba vytvořit zařízení, které umožní přesně stanovit určitý, obvykle dekadický poměr. Tam, kde pracujeme se střídavým nízkofrekvenčním napětím (proudem), využíváme při odvození násobků a podílů jednotky velmi přesných děličů napětí s transformátory. Při vhodné konstrukci (toroidní jádro s velkou permeabilitou vinutí z přesně shodných sekcí, případně s využitím principu tzv. pomocného buzení) lze dosáhnout přesnosti dělicího poměru 10^{-6} až 10^{-9}. Obdobně u ss napětí lze využít kompenzace magnetizačních účinků ss proudu v transformátoru s přesnými poměry závitů (přístroje firmy Guild line) nebo odporových děličů, u nichž je možné s velkou přesností nastavit shodnost jednotlivých odporů, nebo konečně použít techniku časového dělení.

Hierarchie etalonů

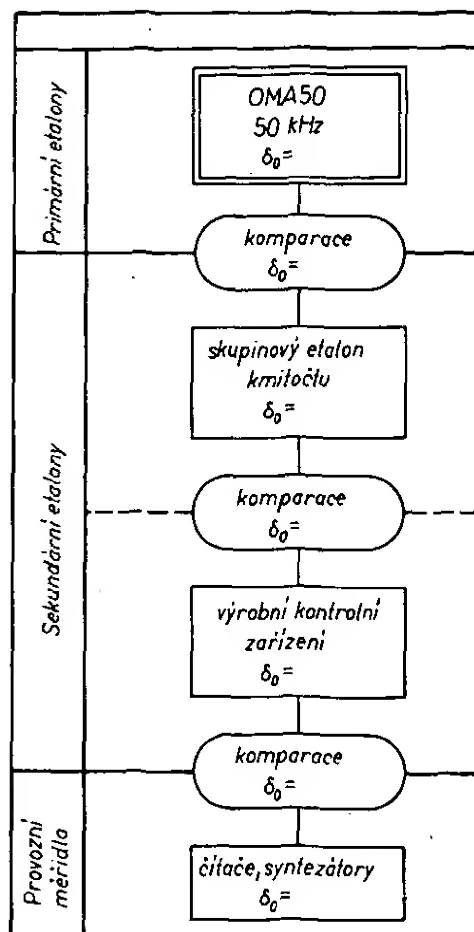
Nejpřesnější etalon, od kterého se odvozují ostatní etalony, nazýváme primární etalon, nebo, po splnění určitých náležitostí, může být primární etalon úředně vyhlášen státním etalonem. Ty u nás obvykle udržuje Československý metrologický ústav v Bratislavě. Méně přesné etalony se člení podle vlastností do řádů. Nejpřesnější jsou etalony 1. řádu. Počet řádů, vlastnosti etalonů a jejich vzájemné vztahy, způsob ověřování udává schéma návaznosti. Schéma návaznosti může být vypracováno na celostátní úrovni, pak je to Československé typové schéma návaznosti měřidel, které se vypracovává samostatně pro každou fyzikální nebo technickou veličinu. Schéma návaznosti může být na základě celostátního podrobně rozpracovaného i na nižší, například podnikové úrovni. Na obr. 83 a 84 jsou zjednodušené příklady státního a podnikového schématu návaznosti. V obdélnících jsou označeny etalony a etalonážní zařízení, v oválech metody ověřování (kontrolování) etalonů. Členění na jednotlivé řady je dáno čs. typovým schématem. (V obr. 84 je třeba ještě doplnit konkrétní údaje chyb δ_0).

Pro zařazení měřicího přístroje do určité třídy přesnosti je třeba mít
a) příslušný etalon,
b) zajištěnu návaznost tohoto etalonu,
c) zajištěnu možnost periodických kontrol.

Vyrobený měřicí přístroj nastavujeme podle etalonu. Etalon musí mít zaručené metrologické parametry, to znamená, že musí být periodicky kontrolován etalony vyššího řádu (přesnějšími), tak jak to



Obr. 83. Příklad celostátního schématu návaznosti měřidel ukazuje, jak se v SSSR zajišťuje návaznost metrologie nelineárního zkreslení



Obr. 84. Zjednodušený příklad schématu návaznosti podniku pro kmitočet

předepisuje příslušné schéma návaznosti. Jen periodickým ověřováním etalonu se můžeme přesvědčit, že etalon splňuje požadavky udané třídy přesnosti. Periodicita kontrol etalonů i měřicích přístrojů (provozních měřidel) není obecně určena. Záleží na druhu přístroje nebo etalonu a jeho použití. Např. přesné transformátorové děliče napětí, jejichž přesnost je dána poměrem počtu závitů užitých transformátorů, která je časově stálá, mohou mít periodicitu kontrol velmi dlouhou, např. několik let. Naopak mnohé moderní přístroje se složitou elektronikou mohou pro plné využití svých vlastností vyžadovat kontrolu velmi častou, např. každodenní nebo i před každým měřením. Některé nejnovější přístroje s mikroprocesory mají vestavěný etalon, podle něhož se na povel nebo automaticky nastavují samy.

Mnoho nedostatků bývá také při stanovení chyb nastavení přístroje. Řídíme se mezinárodně platnými normami (ST SEV 1611-79, IEC publ. 359). Zásadně se požaduje, aby kontrolní měřicí zařízení (etalon) bylo alespoň třikrát přesnější než zkoušený přístroj. V případě, že chyba etalonu není zanedbatelná, to je např. i pro etalon třikrát přesnější, nesmí být zjištěná chyba (nastavení) kontrolovaného přístroje δ_n při nastavení větší než rozdíl povolené chyby přístroje δ_p a chyby etalonu δ_e.
Současně je (v souladu s GOST 22261-82) požadována nejméně 20% výrobní rezerva, to znamená, že

$$\delta_n \leqq \pm (0{,}8\delta_p - \delta_e)\ \%.$$

Příklad: Chceme amatérsky zhotovit ručkový voltmetr třídy přesnosti 5 % (δ_p). Jako etalon máme k dispozici ověřené (zkontrolované) měřidlo třídy přesnosti 1,5 % (δ_e). Avomet II je podle výrobce více než třikrát přesnější a byl-li zkontrolován a nastavujeme-li náš přístroj v době platnosti kontroly Avometu, splňuje požadavky na etalon pro toto užití. Podle uvedeného vztahu musíme nastavit zhotovený voltmetr s chybou

$$\delta_n \leqq (0{,}3 \cdot 5 - 1{,}5)\ \% = 2{,}5\ \%.$$

Jiná situace nastane, budeme-li kontrolovat přístroj v roli zákazníka. Pak můžeme reklamovat pouze tehdy, naměříme-li chybu kontroly δ_k větší než je součet chyby etalonu δ_e a povolené chyby přístroje δ_p

$$\delta_k = \pm (\delta_p + \delta_e)\ \%.$$

Například koupíme-li voltmetr třídy přesnosti 5 % (δ_p) a chceme jej zkontrolovat ověřeným měřidlem třídy přesnosti 1,5 % (δ_e), pak důvod k reklamaci získáme jen tehdy, naměříme-li chybu větší než $\delta_k = (5 + 1{,}5)\ \% = 6{,}5\ \%$.

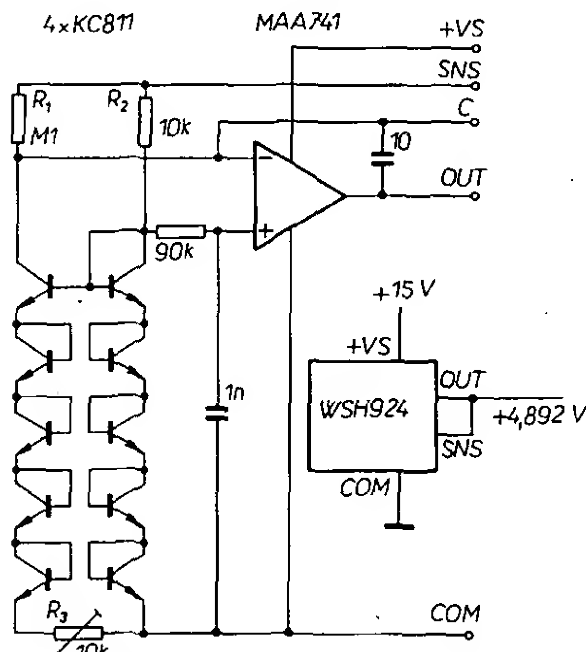
Příklady etalonů v průmyslové a amatérské praxi

Etalony patří obvykle mezi nejnáročnější a nejdražší vybavení pracoviště. Nepostačí pouze vlastnit etalon, je třeba mít zajištěnu jeho návaznost. Nejpřesnější státní etalony jsou např. v SSSR hodnoceny na úrovni státního pokladu drahých kovů.

Možnosti amatéra jsou obvykle velmi omezené. Je však také třeba uvážit potřebnou přesnost amatérských měření. Velmi často vystačí informativní měření. Jako etalon amatér podle možností používá mnohdy tovární měřicí přístroje. Pak je třeba postupovat podle výše uvedených zásad a kriticky zhodnotit stav a dobu od posledního ověření tohoto přístroje. Jako samostatné etalony jsou pro amatéra dostupné etalony
a) ss napětí,
b) odporu,
c) kapacity,
d) nf dělicího poměru.

a) Etalony ss napětí

Jako etalon ss napětí se používá zdroj ss napětí, který je časově stálý a pokud možno málo závislý na okolních vlivech. V profesionální praxi je to obvykle ještě stále Westonův článek. Nevýhodami Westonova článku jsou jeho choulostivost na otřesy, teplotní závislost, nemožnost zatížení, cena a v poslední době i obtížná dostupnost. Proto se i v profesionální praxi projevuje snaha nahradit Westonovy články, používané jako sekundární etalony, elektronickými referenčními zdroji. Zdroje nižší a střední třídy přesnosti mohou využívat k získání referenčního napětí rozdílu úbytku napětí U_{BE} tranzistorů, protékaných proudem různé velikosti. Příklad zapojení zdroje tohoto typu, kterým je např. hybridní obvod WSH924, je na obr. 85. Levým sloupcem tranzistorů



Obr. 85. Zapojení hybridního referenčního zdroje WSH924

na obrázku protéká menší proud (nastavený R_3, 10 kΩ) než pravým sloupcem. Rozdíl součtu napětí U_{BR} levého a pravého sloupce tranzistorů je zesílen operačním zesilovačem a je na výstupu k dispozici jako referenční napětí.

Často se pro zdroje referenčního napětí používají Zenerovy diody. Teplotní součinitel úbytku napětí závisí na tom, na jaké napětí je dioda vyrobena. Diody s napětím menším než asi 5,6 V mají teplotní závislost zápornou, ostatní kladnou. Průchod křivky teplotní závislosti nulou v okolí 5,6 V je poměrně strmý a proto bychom obtížně vybírali diodu s nulovou teplotní závislostí. Snazší je zvolit diodu s kladným teplotním součinitelem a její teplotní závislost kompenzovat jedním až třemi přechody diody nebo přechodu báze-emitor tranzistoru, zapojenými v propustném směru, se záporným teplotním součinitelem −2 až −2,6 mV/°C. Tak jsou vyrobeny diody KZZ45 až KZZ47. Při použití těchto tzv. referenčních diod obvykle musíme přesně nastavit proud diodou, protože teplotní závislost se kompenzuje jen v určitém pracovním bodě. Dlouhodobá stabilita referenčních diod se určuje měřením, které trvá nejčastěji 1000 hodin.

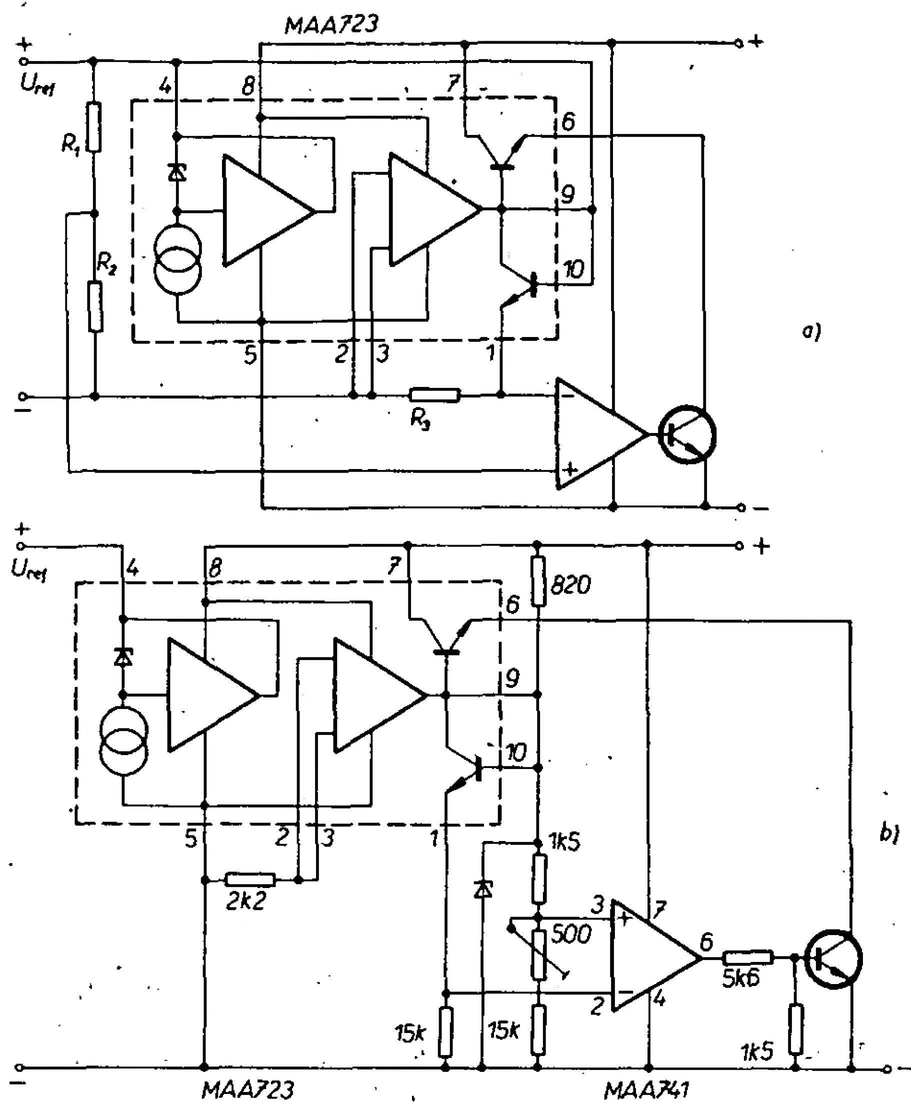
Existují jednodušší způsoby, jak získat zdroj stabilního napětí. Integrovaný obvod MAA723 obsahuje referenční zdroj o napětí 7,15 V (6,95 až 7,35 V), který má malou teplotní závislost 0,005 (<0,015) %/°C a dlouhodobou stabilitu 0,25 %/ /1000 hodin. V případě potřeby lze teplotní závislost ještě dále zmenšit tím, že obvody zesilovače a koncového stupně MAA723 využijeme ke konstrukci termostatu, udržujícího konstantní teplotu uvnitř integrovaného obvodu, viz obr. 86.

Velmi praktickým a aplikačně jednoduchým zdrojem referenčního napětí je nový integrovaný obvod MAC01. Je to ekvivalent obvodu REF-01 firmy Precision Monolitic. Jedná se o monolitický integrovaný stabilizátor napětí, který poskytuje výstupní napětí 10 V nastavitelné nejméně od ±3 % od jmenovitého napětí. Může být napájen ze zdroje 12 až 40 V. Má malý klidový proud 1 mA a vynikající teplotní stabilitu. Na obr. 87 je zjednodušené funkční zapojení a na obr. 88 zjednodušené skutečné zapojení obvodu MAC01.

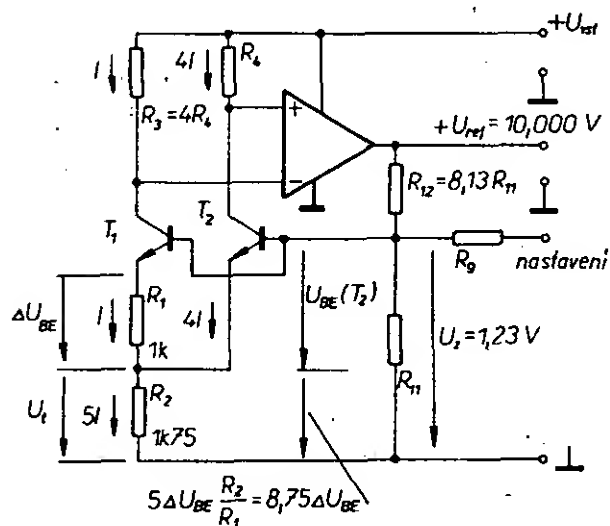
Zapojení referenčního zdroje s MAC01 je extrémně jednoduché. Trimr 10 kΩ (kvalitní typ!) na obr. 89 umožní nastavit výstupní napětí v rozmezí ±300 mV. Udává se, že vliv nastavení na teplotní závislost výstupního napětí je $+0{,}7 \cdot 10^{-6}$ na změnu nastavení 100 mV. Samotný integrovaný obvod je vhodný pro výstupní proudy do 14 mA. Přidáním výkonového tranzistoru podle obr. 90 je možno proudovou zatížitelnost zvětšit. Ze čtyř plochých baterií, obvodu MAC01 a potenciometru 100 kΩ můžeme získat prostý kalibrační zdroj (obr. 91). Zdroj konstantního proudu získáme jednoduše podle obr. 92, pro opačnou polaritu podle obr. 93. Větší výstupní odpor získáme podle obr. 94. Kvalitní zdroje napětí pro velký odběr proudu je třeba udělat „čtyřsvorkově" podle obr. 95. Obr. 96 ukazuje odvození referenčního napětí opačné polarity, obr. 97 odvození $\pm U_{ref}/2$.

b) Etalony odporu

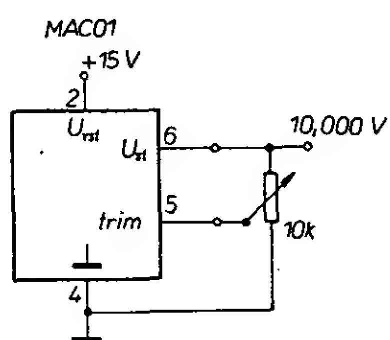
Etalony odporu jsou v profesionální praxi tvořeny obvykle drátovými odpory na válcových cívkách. Aby se zmenšila kmitočtová závislost, používá se pro malé odpory bifilární vinutí, tvořené navinutím přehnutého drátu nebo pásku, pro větší odpory různé kombinace sekcí vinutých v opačných směrech (vinutí Chaperonovo, Ayrton-Perry). Např. drátové odpory 1 kΩ z odporových dekád Metra XLL měly



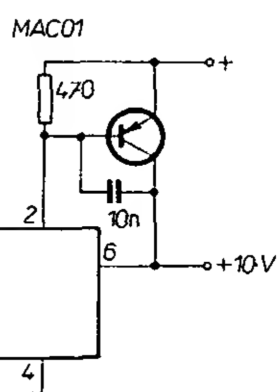
Obr. 86. Využití obvodů uvnitř MAA723 k udržování konstantní teploty uvnitř obvodu pro snížení teplotní závislosti (podle literatury)



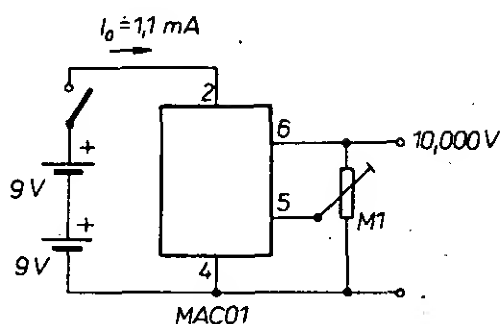
Obr. 87. Princip zapojení integrovaného obvodu MAC01



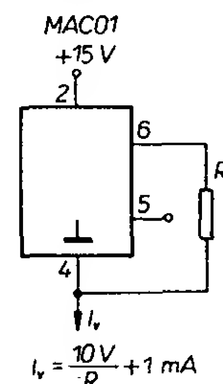
Obr. 89. Zdroj referenčního napětí s MAC01



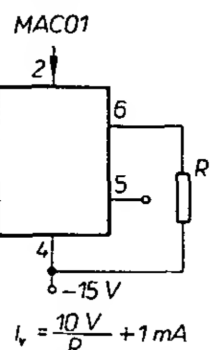
Obr. 90. Zvětšení výstupního proudu vnějším tranzistorem



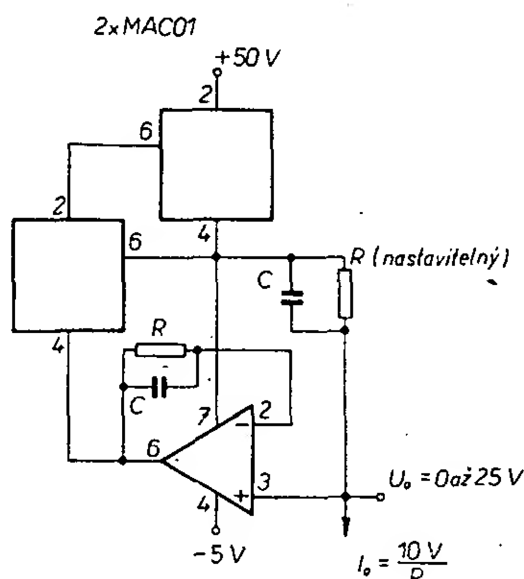
Obr. 91. Jednoduchý bateriový zdroj přesného napětí



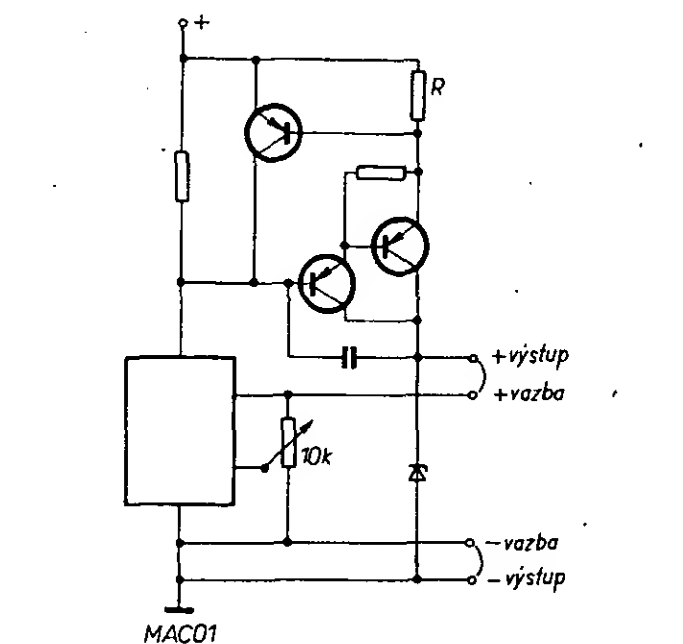
Obr. 92. Zdroj proudu s MAC01



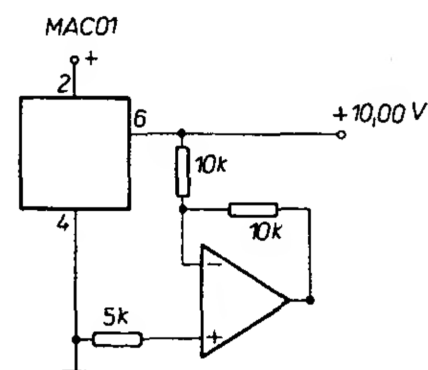
Obr. 93. Zdroj proudu s MAC01



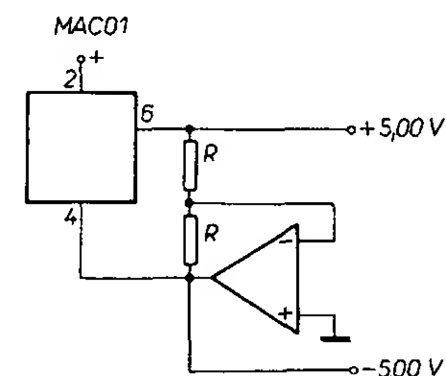
Obr. 88. Zjednodušené zapojení integrovaného obvodu MAC01



Obr. 95. Výkonový zdroj s MAC01 se čtyřsvorkovým připojením zátěže



Obr. 96. Zdroj referenčního napětí 10 V obou polarit



Obr. 97. Zdroj referenčního napětí ±5,00 V

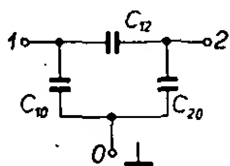
◀ Obr. 94. Získání většího výstupního odporu

vyrovnanou kmitočtovou charakteristiku a rezonance jednotlivých sekcí vinutí se začaly projevovat až při kmitočtech nad 15 MHz. Použitý drát musí mít malou teplotní závislost odporu, dlouhodobou stabilitu, nesmí tvořit termočlánek proti mědi. Nejčastěji se používá manganin, novější slitiny s malou teplotní závislostí v širším rozsahu teplot se nazývají Zeranin, Evanohm aj. Pro amatérské použití a odpory větší než 10 Ω plně vyhoví přesné a stabilní rezistory s kovovou vrstvou, např. řady TR 160 nebo TR 190. Chceme-li si zhotovit etalon pro vlastní potřebu, vybereme vhodný rezistor, pokud možno stabilního typu a s malým teplotním součinitelem. Je-li nutný určitý přesný odpor, snažíme se použít sériové nebo paralelní rezistory a vyhýbáme se dříve dost obvyklému dopilování drážky, které je obvykle na úkor stability. Etalon chráníme vhodným pouzdrem a pozornost věnujeme i vyhovujícím přívodům.

Etalony odporů menších než 1 Ω musíme realizovat drátové, protože vrstvové rezistory tak malých odporů se nevyrábějí. Pozornost je třeba věnovat připojování rezistorů. Přechodový odpor krokodýlků, banánků, přepínačů je řádu jednotek mΩ, což není zanedbatelné. Proto se etalony malých odporů připojují zásadně čtyřsvorkově. Etalon je zapojen tak, že obsahuje proudové (vzdálenější) a napěťové (bližší k rezistoru) svorky. Proudovými svorkami protéká proud etalonem, na napěťových měříme úbytek napětí na etalonu. Přechodové odpory připojení jsou mimo napěťový obvod. Napěťovým obvodem protéká malý proud, proto se přechodové odpory napěťových svorek neuplatní.

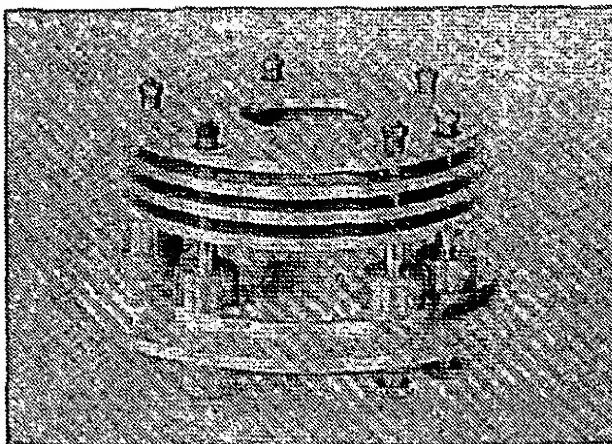
c) Etalony kapacity

Kondenzátor, používaný jako etalon kapacity, musí být vyroben z materiálu, zaručujícího dlouhodobou stálost, malou teplotní závislost, malé dielektrické ztráty, velký izolační odpor a malou vlastní indukčnost. Snížení vlivu okolí se dosahuje stíněním. Tím získáme etalon, v němž můžeme určit tři kapacity. Průchozí C_{12} a dvě kapacity svorek C_{10} proti stínění, obr. 98. S tím je nutno při použití počítat,

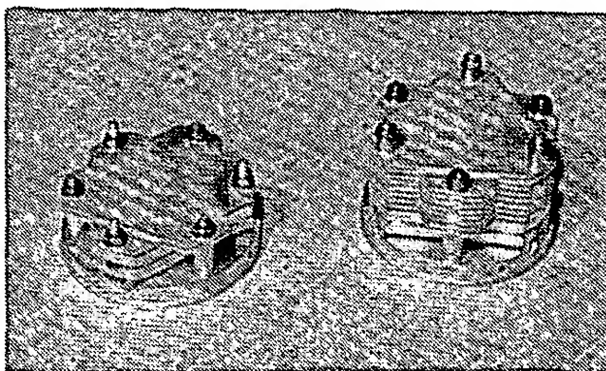


Obr. 98. Náhradní zapojení etalonu C

protože se může vyskytnout i užití, při němž se uplatní jen průchozí kapacita C_{12}, i užití, při němž je třeba uvažovat „uzemněnou" kapacitu $C_{12} + C_{10}$ nebo $C_{12} + C_{20}$. Etalony menších kapacit se obvykle realizují jako kondenzátory se vzduchovým nebo plynným (dusík, argon aj.) dielektrikem. Elektrody mohou být z hliníku, slitin mědi nebo, nejlépe, z invaru pro jeho malou tepelnou roztažnost. Příklady provedení jsou na obr. 99 a 100. Nejpřesnější etalony se dělají z pokoveného křemenného skla (10 pF). Pro kapacity větší než 1000 pF je třeba použít pevné dielektrikum. Nejčastěji je to slída, pro kapacity větší než 100 000 pF se používají kondenzátory s dielektrikem z plastických hmot nebo pokovené fólie. Kapacity větší než 10 µF se realizují z etalonů 10 µF a transformátorů, které transformují kapacitu



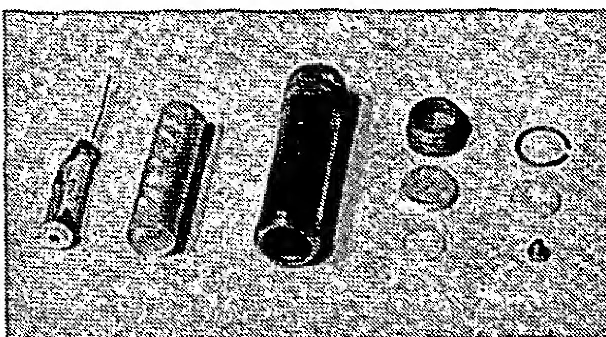
Obr. 99. Příklad speciálního vzduchového etanolu C



Obr. 100. Ukázka provedení deskového etalonu C

10 µF na kapacity řádu až 10 mF. Pro kapacity menší než 1000 pF se někdy používá i stabilní otočný vzduchový kondenzátor ve vhodném stíněném pouzdře.

Pro amatérské použití jsou vhodné pro kapacity menší než 1000 pF některé typy stabilních keramických kondenzátorů s malou teplotní závislostí nebo pokud možno robustní vzduchové otočné kondenzátory. Kondenzátory musí být montovány v kovovém stíněném pouzdře s vhodnými svorkami ve stabilním a definovaném uložení. Příklad továrního provedení je na obr. 101.



Obr. 101. Keramický kondenzátor v kovovém pouzdře jako etalon vf kapacity

Pro kapacity do 10 000 pF jsou vhodné slídové kondenzátory. Pro větší kapacity můžeme použít kondenzátory s dielektrikem z plastických hmot, nesmíme však opomenout jejich teplotní závislost. Je možné také kompenzovat teplotní závislost složením etalonu z několika kondenzátorů s opačnou teplotní závislostí, např. s dielektrikem z polystyrenu a terylenu.

d) Transformátorové děliče

Zcela opomíjené, přitom však nejvhodnější pro amatérskou praxi k získání určitého dělicího poměru jsou autotransformátory. Sestavíme-li dělič napětí ze dvou rezistorů nebo kondenzátorů, je přesnost určena přesností obou použitých prvků. Nevýhodou je, že oba použité prvky jsou teplotně i časově závislé a výstupní odpor je dán hodnotami použitých prvků. Autotransformátorový dělič má malý výstupní odpor a dělicí poměr určený poměrem počtu závitů, který je neměnný a stálý. Je možné poměrně jednoduše realizovat děliče s přesností dělicího poměru řádu 10^{-8}. Postupuje se přitom takto: Jádro transformátoru se volí s co největší permeabilitou na pracovním kmitočtu. Pro akustické kmitočty to bývá některý druh materiálu s velkou permeabilitou (typu permalloy), pro vyšší kmitočty je možné použít ferity. Nejvhodnější tvar jádra je toroidní. Obvykle se navrhují transformátory s dělicím poměrem 0,1; 0,2; . . . 1. Nejlepší symetrie vinutí dosáhneme, navineme-li je kabelem z 10 vodičů, které potom propojíme za sebe tak, že získáme dělicí poměr 0,1; 0,2 . . . až 1. Desetivodičový kabel se vyrábí stočením deseti vodičů do improvizované „licny". Postupujeme tak, že zvolíme vhodný vodič, např. lakovaný drát o průměru asi 0,2 až 0,5 mm. Na vhodném místě spolu s pomocníkem natáhneme 10 paralelních kusů tohoto vodiče v délce potřebné pro vinutí a vývody. Svazek na jedné straně upevníme pevně a na druhé straně do ruční vrtačky a pomalým otáčením zhotovíme kabel, který má asi 50 zkroucení na metr. Hotový kabel se vine rovnoměrně nebo v několika rovnoměrně rozložených sekcích kolem toroidního jádra. Takto vyrobené děliče mají dosažitelnou přesnost až 10^{-8} ze vstupní hodnoty a malý výstupní odpor (desetiny až jednotky ohmů). Pro menší přesnosti, řádu 0,1 až 0,01 % je možné použít i běžné jádro tvaru M, nejlépe z kvalitních permallových plechů. Děliče největší přesnosti se vždy vinou na toroidní jádro a používá se přitom principu tzv. pomocného buzení. Transformátor se v tomto případě skládá ze dvou jader na sobě, přičemž jedno vinutí je umístěno pouze na 1 jádře, kdežto druhé vinutí je vinuto přes obě jádra.

Indukční dělič je vhodný nejen pro přesné dělení napětí, ale v amatérské praxi umožní realizovat i přesné a stabilní můstky *RLC*. O principech a provedení takových můstků je možné získat informace prostudováním instrukčních knížek továrních transformátorových můstků, např. TESLA BM 509, TESLA BM 539 a TESLA BM 484.

e) Obecné zásady

Chceme-li si vytvořit etalon pro vlastní potřebu, musíme vybrat vhodnou součást a dodržet určité zásady. Předně nevyužíváme v žádném případě maximálně povolených parametrů. Rezistory zatěžujeme jen na zlomek povoleného ztrátového výkonu (do 20 %), kondenzátory na malou část povoleného napětí. Snažíme se prvek chránit vhodným krytem, který zmenšuje vliv okolí a mechanické namáhání a může sloužit jako elektrické a tepelné stínění. Osvědčuje se před ověřením vlastností použít několik teplotních cyklů, které u nového prvku urychlí počáteční stárnutí a vyrovnají mechanická pnutí, která mohou vzniknout např. při vinutí odporového drátu na kostřičku.

Horní teplota musí být tak velká, aby měla vliv na stárnutí, ale aby nezpůsobila nevratné jevy v prvku. Osvědčuje se teplota kolem 60 °C. Spodní teplotu volíme podle dostupných možností (např. nejnižší teplotu v chladničce). Pozor na kondenzaci vlhkosti, součásti chráníme např. uložením do uzavřeného igelitového sáčku. Příklad minimálního cyklování: střídavě třikrát 8 hodin v +60 °C a 16 hodin v mrazu, a několik dnů ustálení před měřením. Uvedené zásady platí i pro součásti, vestavěné do přístrojů v místech, kde určují metrologické vlastnosti těchto přístrojů.

2.6 Vlastnosti součástek

Správná volba použitých součástek je nezbytnou podmínkou úspěchu profesionální i amatérské konstrukce. Nutnosti

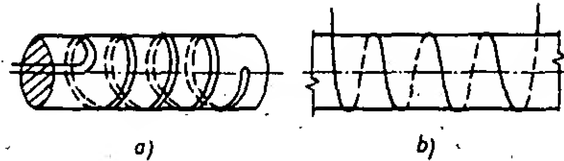
znát základní vlastnosti použitých součástí se nevyhneme ani při stavbě zařízení podle publikovaného návodu. Je smutné, když rozestavěné amatérské zařízení zůstane nedokončeno pouze proto, že realizátor nedovedl zvolit anebo použít správnou náhradu za předepsanou součást. K volbě a náhradám součástí je třeba porozumět funkci obvodu, vědět, proč je použita ta či ona součást a jak ovlivňují její vlastnosti celkovou funkci obvodu.

Pro volbu typů součástek je mnoho hledisek. Je to požadovaná funkce, cena, dostupnost, parametry, rozměry atd. Množství údajů získáme z katalogů, některé všeobecné základní vlastnosti skupin prvků je třeba si pamatovat a využívat. Často jsou součásti tříděny do několika typů ze stejného základu. Víme-li např., že KC507, KC508 a KC509 jsou technologicky shodné tranzistory, ale KC507 je vybrán na větší závěrné napětí a že KC509 má největší proudový zesilovací činitel, nebo že KFY16 a KFY18 jsou průmyslové verze tranzistoru KF517 tříděné podle zesilovacího činitele, mnohem snáze se nám volí náhrady.

Rezistory

Rezistory jsou nejběžnější součástky, se kterými se setkáme prakticky všude. Nejvíce se používají vrstvové rezistory, u nichž je funkční vrstva vytvářena pyroliticky naneseným uhlíkem nebo slitinami kovů (NiCr, Si-FeCr). Různý odpor rezistorů se získává broušením (obvykle ve tvaru šroubovice) odporové vrstvy. Teplotní součinitel odporu umožňuje určit změnu odporu rezistoru při známém zatížení. Závisí na typu rezistoru. Může být např. ± 15 až $\pm 150.10^{-6}$ pro řadu TR 160, ± 300 až $\pm 700.10^{-6}$ pro řadu TR 190, nebo -500 až $+200.10^{-6}$ pro řadu TR 200 do 100 kΩ. Rezistor se ohřívá obvykle vlastním ztrátovým výkonem až do stavu, kdy vliv ohřevu vyrovná přestup tepla z rezistoru do okolního prostředí a teplo odváděné přívody a vyzařováním. U rezistorů, jejichž odporová vrstva není vytvořena kovem, vzniká určitá napěťová nelinearita, která se dá vyjádřit napěťovým součinitelem nelinearity. Může dosahovat až násobků 10^{-4}/V. Výrazně zvětšený součinitel ukazuje na menší spolehlivost rezistoru. Průchodem proudu vrstvovým rezistorem vzniká proudový šum nestálostí proudových drah v odporové vrstvě při ss napětí na rezistoru. Je menší u rezistorů, které mají vývody připájeny, než u rezistorů s čepičkami. Méně již závisí na typu odporové vrstvy. Za povšimnutí stojí, že odpory s kovovou vrstvou MLT 0,25 bez označení mají specifikován šum 5 µV/V, což je horší než u uhlíkových řady TR 200 (3 µV/V). Bezčepičkové typy jsou podstatně lepší, řada TR 190 má udáno 0,5 až 1 µV/V a řada TR 160 0,1 až 0,25 µV/V.

Při výběru rezistorů sledujeme zejména jejich odpor, ztrátový výkon, požadovanou přesnost a stabilitu. V převážné většině případů vystačí uhlíkové rezistory, nejčastěji TR 213. Tam, kde máme větší požadavky na přesnost a stabilitu odporu, příp. malou teplotní závislost, volíme vhodné typy s kovovou vrstvou, např. TR 191, pro vyšší požadavky TR 161, výjimečně z řady WK 681. S drátovými rezistory se setkáme hlavně ve výkonových obvodech. Přesné drátové rezistory jsou náročnou součástkou, vyžadující speciální materiály (manganin), provedení i zacházení. Kmitočtovou závislost zmenšujeme speciálním provedením podle obr. 102. V amatérské praxi, pokud potřebujeme přesné odpory, dáváme přednost rezistorům s kovovou vrstvou.



Obr. 102. Drátové rezistory malých odporů vineme navíjením smyčky odporového drátu. To je bifilární vinutí podle a), které má potlačenou indukčnost, ale dost velkou kapacitu. Potlačit indukčnost lze i vinutím na kostřičku tvaru pásku – b)

Rezistory s malými odpory

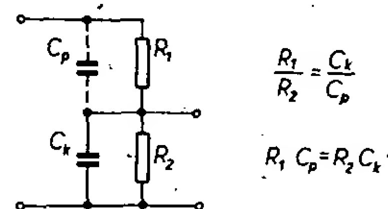
Přívody a přechodové odpory při připojení rezistoru představují další odpory v sérii s rezistorem. V běžných případech můžeme tento vliv zanedbat. Požadujeme-li však rezistor s malým (a přesným) odporem, může být připojení zdrojem značných nepřesností. Např. pro rezistor 10 Ω je (s přesností 0,1 %) odpor přívodů a připojení pouhých 10 mΩ. V takovém případě se snažíme připojovat rezistor čtyřsvorkově, abychom vliv přívodů odstranili. Při nevhodném návrhu se může do vlivu přívodů započítávat i odpor příslušného plošného spoje a výsledný odpor může být mimo toleranci i při použití přesného rezistoru.

Rezistory s velkými odpory

Běžné typy rezistorů se vyrábějí do odporu maximálně 10 MΩ. Potřebujeme-li rezistory větších odporů, musíme postupovat uváženě. Existují rezistory s vrstvou polovodivého laku (WK 65005, TR 142) řádu 10 MΩ až 1,5 TΩ. Nejsou však běžné, jsou méně přesné a méně stabilní, jejich odpor závisí na přiloženém napětí. Zvýšenou pozornost je nutné věnovat montáži – izolačním vlastnostem pájecích bodů i čistotě vlastního tělíska rezistoru. Nesmí se vytvořit paralelní svodové dráhy po použité izolaci. Důležité je také největší povolené napětí, které omezuje použití těchto rezistorů v děličích a způsobuje nelineární závislost jejich odporu na přiloženém napětí. Pokud je to možné, vyhneme se používání rezistorů s velkými odpory vůbec, popř. je nahradíme kombinací běžných rezistorů. Např. na obr. 103 je invertující operační zesilovač s FET. Předpokládejme, že odpor vstupního obvodu musí být 1 MΩ pro zesílení 1000. Z toho by vyplýval $R_0 = 1000$ MΩ. Místo rezistoru s odporem 1000 MΩ však můžeme použít článek T s R_1, R_2 a R_3. Odpory rezistorů zvolíme tak, aby $R_3 \gg R_1 \gg R_2$. Pak platí, že ekvivalentní odpor článku T se přibližně rovná odporu rezistoru ve výstupní větvi (R_3) násobeném poměrem R_1/R_2.

Kmitočtová závislost rezistorů

Každý reálný prvek má nejen žádané, ale i nežádoucí vlastnosti. U vrstvových rezistorů je to zejména parazitní kapacita (příp. parazitní indukčnost). Je třeba si uvědomit, že běžné parazitní kapacity řádu desetin až jednotek pF zmenšují impedanci v závislosti na odporu příslušného rezistoru. Pro velké odpory (100 MΩ) jsou to již jednotky až desítky kHz. Čím menší je odpor rezistoru, tím se vliv kapacity uplatňuje od vyšších kmitočtů. Nemá smysl používat na vysokých kmitočtech rezistory neúměrně velkých odporů. Vliv indukčnosti přívodů potlačujeme vhodnou montáží s provedením spojů. V extrémních případech, jako jsou širokopásmové anténní zesilovače pro televizní příjem, je vhodné použít i několik rezistorů paralelně, aby se zmenšil vliv indukčnosti přívodů. Kmitočtovou závislost nesmíme opomenout při konstrukci s velkými odpory děličů (vstupní obvody osciloskopů, stř. voltmetrů aj.). V tomto případě je třeba vliv parazitní kapacity rezistoru s velkým odporem potlačit přidáním dodatečné kapacity k rezistoru s menším odporem (obr. 104), tzn. dělič musíme kmitočtově kompenzovat.

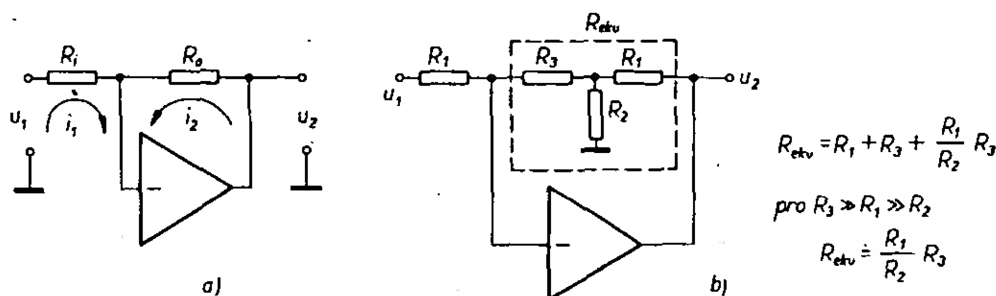


Obr. 104. Vytvoříme-li z dvou rezistorů R_1 R_2 dělič pro střídavé napětí, musíme ke spodnímu rezistoru R_2 přidat paralelně takový kondenzátor C_k, aby dělicí poměr odporového děliče R_1 – R_2 i kapacitního děliče C_p (parazitní kapacita rezistoru) C_k byl stejný

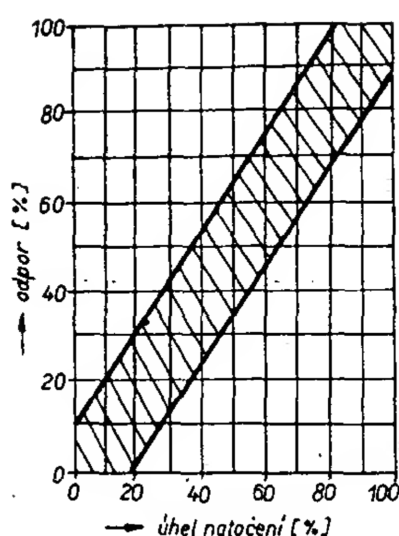
Potenciometry

Potenciometr je elektromechanická součástka, u níž je kontakt běžce vždy jen mechanicky přitlačen k odporové dráze. Z toho plynou jeho vlastnosti, jako menší stabilita nastaveného odporu, šum při protáčení, možnost změny odporu nebo mikrofoničnost při mechanickém zatížení aj.

Používáme-li k přesnému nastavení vlastností obvodu odporové trimry, dbáme podle možností, aby nastavený odpor byl jen účelnou, malou částí z celkového odporu mezi příslušnými body zapojení a zbytek aby určoval samostatný sériový rezistor. Povolené tolerance odporu potenciometru jsou obvykle značně velké (obr. 105). Potenciometr je vlastně odporový dělič s proměnným dělicím poměrem. Pro vyšší kmitočty a odpory se může nepříznivě uplatnit kapacita odporové dráhy proti (obvykle uzemněnému) krytu. Kompenzace je omezena proměnností nastavení běžce potenciometru. Ze současného sortimentu používáme pro běžné aplikace především miniaturní vrstvové potenciometry řady TP 160. V řadě zapojení mají dosud své oprávnění typy TP 280. Ačkoli je uvedený typ označen za neperspektivní, výrobce zatím bohužel nenabízí náhradu se srovnatelnou cenou a parametry.



Obr. 103. Potřebujeme-li, aby odporem R_0 tekl malý proud i_2, nemusíme vždy používat rezistor s velmi velkým odporem, můžeme použít článek T z rezistorů obvyklých odporů



Obr. 105. Toleranční pole odporové dráhy vrstvového potenciometru je široké a znemožňuje opatřit potenciometr předem stupnicí. Např. pro lineární průběh (N) podle obrázku, může být v polovině (50 % natočení) odpor 35 až 65 % z odporu potenciometru (pro logaritmický je to asi 4 až 20 % z celkového odporu). Na okrajích dráhy může být odpor již 10 % z celkového, nebo, naopak, odpor se může začít měnit až od 20 % z celkového úhlu otáčení

Díky robustnímu provedení a dobrému kontaktu bez mrtvého chodu jsou TP 280 vhodné pro řízení ladicího napětí varikapů, výstupních napětí zdrojů apod. Dále jsou jen v tomto provedení vyráběny tandemové potenciometry se zaručovaným souběhem (až 2 dB) nebo potenciometry se speciálními závislostmi odporu na natočení hřídele (NS, E, G apod.).

Kondenzátory

Kondenzátory jsou používány ve velkém množství typů a kapacit. Kapacita, povolené napětí a rozměry jsou základními hledisky při výběru kondenzátoru. Pro správné používání a využití těch nejvýhodnějších vlastností každého kondenzátoru je nezbytné mít alespoň základní znalosti o vlastnostech použitého dielektrika. Dielektrický materiál je uložen mezi plochými nebo fóliovými elektrodami a při dané geometrii určuje vlastnosti kondenzátoru. Dielektrikum má řadu žádoucích i nežádoucích vlastností. Má svodový odpor, udržuje v sobě náboj, způsobuje ztráty při střídavém proudu. Vlastnosti dielektrika se mění s časem, teplotou, závisí na přiloženém napětí. Podrobnosti je třeba čerpat z katalogů a učebnic.

Permitivita (dielektrická konstanta) dielektrika je poměr náboje v ideálním kondenzátoru s tímto dielektrikem a téhož kondenzátoru se vzduchovým dielektrikem. Určuje, kolikrát je kapacita kondenzátoru s dielektrikem větší než u stejného se vzduchovým dielektrikem.

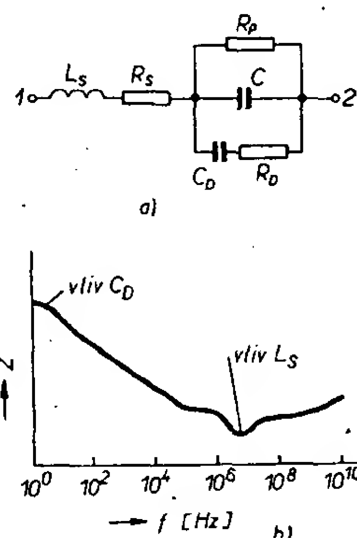
Činitel ztrát je poměr mezi reaktancí a sériovým odporem kondenzátoru. Závisí na kmitočtu. Pro 1 kHz bývá desetiny procenta. *Izolační odpor* charakterizuje ss proud, procházející kondenzátorem. *Kmitočtové vlastnosti* závisí na použitém dielektriku i na konstrukci kondenzátoru. Každý reálný kondenzátor má kromě kapacity C paralelní izolační odpor R_p, sériový odpor R_S a indukčnost přívodů L_S a dielektrické vlastnosti, charakterizované dielektrickou absorbcí C_D a R_D. Pro kondenzátor s fólií z plastické hmoty mohou být jednotlivé prvky náhradního schématu např.: $C = 10\,\mu F$, $L_S = 3\,\mu H$, $R_S = 0{,}2\,\Omega$, $R_p = 10^9\,\Omega$, $R_D = 10^{11}\,\Omega$, $C_D = 20$ pF. Náhradní schéma (obr. 106) ukazuje, že impedance kondenzátoru se s kmitočtem nezmenšuje neomezeně a nemusí tedy znamenat, že kondenzátor s větší „nf kapacitou" má na vf menší impedanci než kondenzátor s menší kapacitou.

Dielektrická absorbce je další, málokdy uvažovanou vlastností kondenzátoru. Nabijeme-li kondenzátor na určité napětí, část náboje se váže s dielektrikem a nemůže být snadno odstraněna krátkodobým vybitím. Napětí na elektrodách vybitého kondenzátoru s dielektrickou absorbcí se však pomalu po rozpojení vybíjecího zkratu zvětšuje. Dielektrickou absorbci můžeme charakterizovat tím, jak velká část původního napětí se na kondenzátoru po vybití obnoví. Poměr obou napětí je funkcí nabíjecího i vybíjecího času, použitého napětí a teploty. Proto má pouze srovnávací význam. Nejlepším materiálem z hlediska dielektrické absorbce je polystyrén se součinitelem dielektrické absorbce asi 0,02 %. Slída má 0,7 % a impregnovaný papír asi 2 %. Dielektrická absorbce se uplatní nejvíce u kondenzátorů, použitých v různých časovacích obvodech, v nichž se kondenzátory nabíjejí a vybíjejí. Protože k úplnému vybití kondenzátorů je třeba delšího času, způsobuje tento jev zvětšení kapacity kondenzátoru na nízkých kmitočtech.

Svitkové kondenzátory

Svitkové kondenzátory jsou tvořeny svitkem z hliníkových fólií a izolačních fólií, tvořících dielektrikum. Jsou-li přívody k fóliím přivařeny (např. u TC 276 až TC 280), lze používat kondenzátory i pro velmi malá napětí, řádu mikrovoltů. Kondenzátory s nepřivařenými vývody jsou vhodné pouze pro napětí větší než několik desetin voltu. Jsou-li přívody vloženy mezi fólie, má kondenzátor větší parazitní indukčnost než tehdy, když jedna z elektrod přečnívá na jednu a druhá na druhou stranu svitku a celé přečnívající plochy jsou připojeny k vývodům. Kondenzátory s fóliemi z plastických hmot jsou kvalitnější než s papírovým dielektrikem. Kondenzátory s polystyrénovou fólií mají teplotní součinitel kapacity záporný, kondenzátory s polyesterovou fólií kladný, což umožňuje v nutných případech volit vhodnou kombinaci k dosažení určité nebo malé teplotní závislosti.

Fóliové kondenzátory méně dokonalé konstrukce nejsou hermetické a mohou být i mikrofonické, pokud mechanické namáhání může vyvolat změny kapacity. Pro kapacity větší než 0,1 µF jsou kondenzátory nepříjemně velké. Zmenšit rozměry je možné, použijeme-li místo elektrod pouze pokovené izolační fólie. Tyto tzv. metalizované kondenzátory vycházejí rozměrově mnohem příznivěji. Průraz kondenzátoru s metalizovanou fólií lze odstranit „přetížením" místa průrazu a odpařením pokovení v blízkosti tohoto místa (regenerace). Užití metalizovaných kondenzátorů v obvodech s malým šumem je nutno pečlivě zvážit, protože mikroprůrazy na nedokonalostech použité fólie (platí zejména pro papír) mohou způsobit zvětšený šum kondenzátoru.

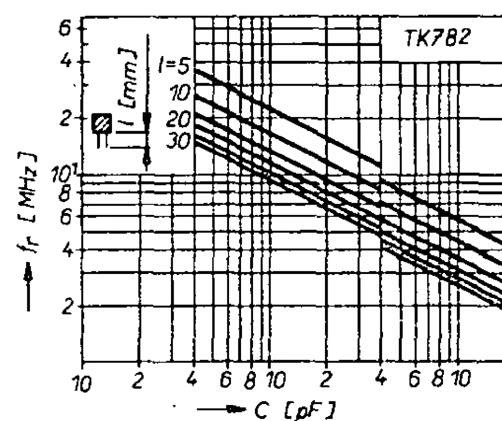


Obr. 106. Náhradní zapojení kondenzátoru (a) obsahuje kapacitu kondenzátoru C, svodový odpor R_p, sériový odpor R_S a indukčnost L_S. Vliv dielektrické absorbce lze modelovat paralelními členy R_D a C_D (kterých by měla být celá řada). Kmitočtová závislost impedance je na obr. b). Vysvětlení funkce modelu dielektrické absorbce pomocí C_D a R_D: připojíme-li na svorky 1 a 2 stejnosměrné napětí, pak se po dostatečně dlouhé době C i C_D nabíjí na toto napětí. Zkratujeme-li pak svorky 1 a 2, C se vybije rychle, kdežto rychlost vybíjení C_D je omezena velkým odporem R_D. Rozpojíme-li zkrat 1 – 2 před vybitím C_D, pak po rozpojení se část náboje z C_D přenáší na C přes R_D a na svorkách 1 – 2 kondenzátoru pozorujeme část z napětí původně přiloženého na svorky 1 – 2 kondenzátoru

Keramické kondenzátory

Informace o keramických kondenzátorech čerpáme z katalogu. Kondenzátory s kapacitami jednotek až stovek pF se vyrábějí v různých typech s různou teplotní závislostí kapacity, umožňující použít je např. v teplotně kompenzovaných laděných obvodech. Označují se jako kondenzátory typu I – s malými ztrátami. Hlavní složkou použitých dielektrik je oxid titaničitý (permitivita 5 až 250). Vyznačují se velkou stabilitou kapacity, malými ztrátami i na vysokých kmitočtech (max. 5.10^{-3}), definovaným teplotním součinitelem kapacity (podle typu kladným nebo záporným). Závislost kapacity na teplotě je prakticky lineární a vratná. Mají velký izolační odpor, úzké tolerance kapacity a dlouhodobě stabilní parametry bez napěťové závislosti. Užívají se tam, kde je nutná velká stabilita, malé ztráty, úzké tolerance kapacity, např. ve vf laděných obvodech, filtrech, jako vf vazební a oddělovací kondenzátory.

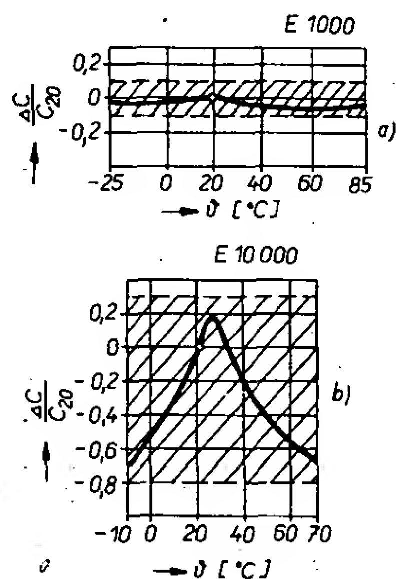
Určitou opatrnost, založenou na znalostech vlastností kondenzátoru a obvodu, v němž bude použit, je třeba zachovávat při užití keramických kondenzátorů typů 2 a 3. Označujeme tak kondenzátory s dielektriky z titaničitanů kovů žíravých zemin s permitivitou 700 až 15 000. Mají velké kapacity a malé rozměry, menší stabilitu a větší ztrátový činitel, nelineární závislost kapacity a ztrátového činitele na teplotě (obr. 107), napětí a kmitočtu.



Obr. 107. V katalogu keramických kondenzátorů TESLA Hradec Králové jsou uvedeny rezonanční kmitočty kondenzátorů v závislosti na kapacitě a délce vývodů. Příklad ukazuje, že pro větší kapacity jsou rezonanční kmitočty nižší než 10 MHz!

Užívají se hlavně pro blokovací účely.

Kondenzátory typu 3 mají jako dielektrikum tenkou povrchovou vrstvu keramiky. Mají extrémně velké kapacity a malé (<40 V) přípustné napětí. Vlastnosti a užití jsou podobné jako u typu 2. Při volbě konkrétního provedení kondenzátoru typu 2 nebo 3 je třeba uvažovat všechna omezení těchto kondenzátorů. Kondenzátory typu 3 jsou určeny především pro nižší kmitočty (<1 MHz). U hmot typu 2 a 3 se může projevit i mikrofoničnost. Není vhodné je proto používat jako vazební kondenzátory do zesilovačů s velkým ziskem. Při užití těchto kondenzátorů platí, že méně je někdy více a jak se můžeme přesvědčit měřením impedance, kondenzátory s kapacitou 10 až 15 nF jsou pro blokování na kmitočtech desítek MHz vhodnější než kondenzátor s kapacitou 10× větší – např. 100 nF, TK 783. Rezonanční kmitočet s uvážením vlivu přívodů podle katalogu TESLA Hradec Králové je na obr. 108.



Obr. 108. Keramické hmoty s velkou dielektricku konstantou mají velkou závislost kapacity na teplotě. Příklad podle katalogu TESLA Hradec Králové ukazuje teplotní závislost kapacity vůči kapacitě při 20 °C (při 1 kHz a U_m = 1,5 V) pro různé keramické hmoty

Elektrolytické kondenzátory

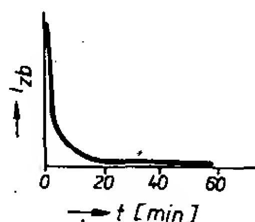
Elektrolytické kondenzátory mají vlastnosti podstatně odlišné od jiných typů kondenzátorů. Jsou nenahraditelné v aplikacích, kde je nutná velká kapacita, případně i malé rozměry. Od klasických kondenzátorů se liší tím, že jednu elektrodu (katodu) tvoří vodivý elektrolyt, anoda je tvořena čistou hliníkovou fólií s elektrolyticky vytvořenou vrstvičkou oxidu hlinitého Al_2O_3, která tvoří dielektrikum. Katodová fólie slouží pouze jako „velkoplošný" přívod proudu pro elektrolyt. Elektrolyt je nasáknut v papírovém pásu, který odděluje katodovou a anodovou fólii.

Vyráběné kondenzátory dělíme na typ 1 pro zvýšené požadavky a typ 2 pro běžné použití. *Jmenovité napětí* je největší napětí, na které je kondenzátor konstruován. Nesmí být v žádném případě překročeno, jinak by se kondenzátor mohl dále formovat, což je spojeno s vývinem plynu a tepla, a kondenzátor by se mohl zničit. Zmenšením provozního napětí se prodlužuje doba života kondenzátoru.

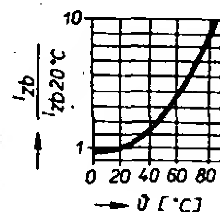
Kondenzátory mohou pracovat i v obvodech se střídavým napětím, je-li st napětí superponované na ss napětí; jeho velikost nesmí překročit jmenovité napětí, nejmenší nemá způsobit zatížení napětím opačné polarity (max. do 2 V).

Superponovaný střídavý proud je efektivní hodnotou povoleného střídavého proudu. Je tím větší, čím větší je povrch kondenzátoru a kmitočet a čím menší je jeho sériový odpor a teplota okolí. Tento parametr by neměl být přehlížen u napájecích zdrojů. Proudy jednotek ampérů se mohou vyskytnout u běžných napájecích zdrojů s transformátory s malým odporem vinutí. Povolený superponovaný proud se prudce zmenšuje při teplotě nad 40 °C, při zvýšení teploty z 40 na 70 °C se zmenší na 20 %.

Zbytkový proud je proud protékající kondenzátorem připojeným na ss napětí vlivem nenaformovatelných atomů cizích prvků v hliníku. Čím je menší, tím je kondenzátor kvalitnější. Podle typu a kapacity je (0,006 až 0,05) $C_{jm}U_{jm}$. Zbytkový proud je velký po zapojení a zejména po delším skladování kondenzátoru bez napětí. Po několika minutách se zmenší na zlomek původní velikosti (obr. 109). Zbytkový proud má velkou teplotní závislost (obr. 130). Se zbytkovým proudem musíme počítat tam, kde není kondenzátor přemostěn rezistorem malého odporu. Neuplatní se tedy u blokovacích a filtračních obvodů. Může hrát významnou roli u vazebních kondenzátorů. Volbou kondenzátoru na několikanásobně větší jmenovité napětí, než je napětí provozní, dosáhneme podstatného zmenšení zbytkového proudu. Např. je-li provozní napětí 40 % ze jmenovitého, zmenší se zbytkový proud na 10 %.



Obr. 109. Zbytkový proud elektrolytického kondenzátoru se po připojení ss napětí dlouho ustaluje



Obr. 110. Teplotní závislost zbytkového proudu kondenzátoru je značná a v rozsahu pracovních teplot přesahuje jeden řád

Kapacita elektrolytického kondenzátoru je kmitočtově závislá. Měří se obvykle na 50 Hz nebo 100 Hz. Jmenovitou kapacitu, označenou na pouzdře kondenzátoru, musíme považovat spíše za spodní mez než za skutečnou velikost, protože kondenzátory se vyrábějí v toleranci −10 až +100 % (+50 %, +30 %) od udané kapacity. Kapacita se s teplotou zvětšuje a s kmitočtem zmenšuje. *Impedance kondenzátoru* se skládá ze sériového spojení tří složek

- reaktance $1/\omega C_S$ kapacity C_S,
- odporu elektrolytu, fólií a přívodů R_S,
- reaktance ωL_S indukčnosti svitku a přívodů

a je dána vztahem

$$Z = \sqrt{R_S^2 + (\omega L_S - \frac{1}{\omega C_S})^2}.$$

Je nutné si uvědomit následky parazitních parametrů L_S a R_S. Jejich vlivem nebude impedance kondenzátoru nikdy menší než jednotky nebo desetiny ohmu. Proto se obvykle ve filtračních obvodech přidává paralelně k elektrolytickému ještě kondenzátor s menší kapacitou keramický nebo svitkový. Při nevhodně zvolené kombinaci se však může stát, že přídavný kondenzátor vytvoří s indukčností elektrolytického kondenzátoru paralelní rezonanční obvod a impedance blokovacího obvodu se pro rezonanční kmitočet tohoto obvodu zvětší.

Také při volbě kapacity kondenzátoru paralelně k emitorovému rezistoru se někdy nepostupuje správně. Kondenzátor zde vytváří zkrat pro kmitočty vyšší, než je časová konstanta RC v emitorovém obvodu. Za R však nelze dosazovat pouze odpor rezistoru zařazeného v emitorovém přívodu, ale paralelně k němu má dominující vliv malá výstupní impedance tranzistoru ze strany emitoru.

Cívky a transformátory

Tyto součástky patří mezi speciální součásti, pro jejichž vlastní návrh jsou třeba obsáhlejší odborné znalosti. Zejména u síťových transformátorů doporučujeme volit dostupné průmyslově vyráběné typy se zaručenou bezpečností.

Návrh cívek a transformátorů je vždy doprovázen experimentálním ověřením a zpětnými úpravami. Při návrhu se uplatňují principy vycházející z teorie obvodů i empirické výrazy. Na síťové transformátory jsou ještě kladeny zvláštní bezpečnostní požadavky, které jsou ověřovány speciálními aparaturami. Jak z hlediska bezpečnostních parametrů, tak z hledisek nákladů je výhodné používat sériově vyráběné transformátory. V SSSR existuje řada univerzálních síťových transformátorů. U nás se uplatňuje unifikace u jednotlivých výrobců. V amatérských podmínkách doporučujeme zaměřit se především na průmyslově vyráběné typy. Jde zejména o transformátory z výrobků spotřební elektroniky, které lze koupit jako náhradní díl. Použitelné jsou i tzv. zvonkové transformátory. Např. typ TR 16-0 z Rumunska, prodávaný za 34 Kčs, poskytuje výstupní napětí 8 V při odběru 0,5 A. Je zkratuvzdorný a odpovídá bezpečnostní třídě 2. Vyhoví pro řadu jednodušších přístrojů.

Vysokofrekvenční cívky vyžadují měření indukčnosti a činitele jakosti Q. Nejen vrstvové, ale i křížové cívky lze realizovat i v amatérských podmínkách. Zatímco indukčnost jednovrstvových cívek můžeme s vyhovující přesností stanovit výpočtem, při zhotovení vícevrstvové a křížově vinuté cívky se neobejdeme bez měření. K dosažení velkého činitele jakosti se vinou jednovrstvové cívky z tlustšího postříbřeného drátu, vícevrstvové z tzv. vf lanka.

Málo je známa skutečnost, že ochranná vrstva měděných vodičů používaných pro vinutí transformátorů má poměrně dobré vf vlastnosti a povrch mědi pod ní je po tažení drátu čistý, bez oxidů zhoršujících povrchovou vodivost vodiče. Prakticky bylo prokázáno, že cívky z těchto vodičů mají stálejší činitele jakosti než cívky z postříbřených vodičů, jejichž jakost se při zkorodování povrchové vrstvy působením v atmosféře obsažených sloučenin síry zmenší až pod jakost cívek a vodičů nestříbřených.

Opomíjeny bývají vlastnosti tlumivek. Tlumivka je cívka jako každá jiná, potlačujeme u ní pouze činitel jakosti. Má svou vlastní rezonanci a čím blíže je rezonance pracovnímu kmitočtu, tím větších překvapení se můžeme v obvodu dočkat. V žádném případě neplatí – když navineme co nejvíce závitů, dostaneme velkou indukčnost a tím lepší filtrační účinky. Vlastnosti

tlumivky musí být prověřeny především na pracovním kmitočtu. Indukčnost tlumivky bývá asi o řád nebo dva větší, než jakou mají obvody, na které je připojena. Má mít malou kapacitu a malou jakost. Proto se často zatlumuje sériovým nebo paralelním odporem.

Průměr drátu se volí co nejmenší. Pro VKV se doporučuje vinout tlumivku z drátu, jehož délka je $\lambda/4$ na pracovním kmitočtu. Osvědčují se tlumivky z drátu provléknutého feritovou trubičkou nebo miniaturním toroidem, kterým je někdy vhodné prostrčit i vývod tranzistoru pro zabránění parazitních vf oscilací.

Své zvláštnosti má i použití jader cívek. Feromagnetické materiály se vyznačují teplotní závislostí magnetických vlastností a nelinearitou. Cívky filtrů bývají někdy navinuty na toroidních jádrech. Zde je vliv teploty zvláště zřetelný. Jiným nežádoucím jevem je vliv působení silného magnetického pole (např. v blízkosti hrotu transformátorové páječky), které může způsobit vratné i nevratné změny indukčnosti. Jev lze potlačit zapínáním a vypínáním páječky nebo lépe použitím klasických pájedel v dostatečné vzdálenosti od cívky. Vložením feromagnetického jádra do cívky zesilujeme účinek rušivých magnetických polí. Za všechny jeden příklad z praxe – výstupní signál generátoru byl nevysvětlitelně parazitně kmitočtově modulován 50 Hz. Příčina byla nalezena ve feromagnetickém jádru cívky oscilátoru, které se nacházelo v rozptylovém poli síťového transformátoru.

Polovodičové součástky

Ještě asi před čtvrt stoletím nebylo problémem znát zpaměti všechny běžně užívané přijímací elektronky a několik typů dostupných tranzistorů. K určení typu elektronky (mimo rozlišení E a P) stačil pohled do baňky na vnitřní uspořádání. Vývoj však jde rychle kupředu a katalog polovodičových součástek TESLA Rožnov 1984 měl již 268 stran. To však neznamená, že používané polovodičové prvky tvoří velký soubor typů, v němž se nemůže vyznat ten, kdo s nimi soustavně nepracuje. V každém případě je však třeba mít základní představy o funkci a vlastnostech základních používaných prvků. Je lepší představa zjednodušená, než žádná. Pro děti do 10 let, seznamující se se svou první elektronickou stavebnicí, poslouží hydrodynamická analogie podle obr. 111. I pro převážnou většinu ostatních pracovníků postačí zjednodušení určitého stupně, nepotřebují znát rovnice polovodičové fyziky. Je však třeba pochopit základní vlastnosti polovodičového přechodu p-n a funkci tranzistoru. Za nezbytně nutné považujeme porozumět základní funkci prvku v obvodu.

Pro nf a všeobecné použití je univerzálním typem tranzistoru KC508 (KC148, KC148P podle typu pouzdra). Je-li však nutné větší závěrné napětí, může být vhodný typ vybíraný na závěrné napětí (KC507), nestačí-li, je třeba volit typ, speciálně navržený z hlediska závěrného napětí (BF257 až 9, BF457 až 9). Potřebujeme-li větší výkon (proudy), pak můžeme vyhovět např. KF507, KF508, nebo dále některý z tranzistorů řady KD. U tranzistorů typu KF508 však větší výkon a tedy i větší rozměry přechodů znamenají přibližně desetinásobné zvětšení kapacity kolektor – báze. V laděných vf zesilovačích působí tato kapacita nežádoucí zpětnou vazbu; její velikost (asi 2 pF) u tranzistorů KC507 až 509 je pro některé užití neúnosně velká. Proto byly pro vysokofrekvenční a mezifrekvenční zesilovače vyvinuty speciální tranzistory KF124, 125, BF167, BF173 s podstatně menší kapacitou kolektor – báze.

Jako druhého příkladu si všimněme operačních zesilovačů. MAA741 nebo jeho levnou dvojitou verzi MA1458 můžeme považovat za univerzální typ operačního zesilovače pro všeobecné použití. Poněkud horší vlastnosti má varianta označená C. Pro aplikace, v nichž by byl typ 741 příliš „pomalý", je určen MAA748, stejného provedení, ale s možností volit kapacitu korekčního kondenzátoru. Zesilovače řady MAA500, tříděné zejména podle stejnosměrných parametrů, umožňují větší variabilitu volby korekčních prvků, mají však některé nevýhody starší konstrukce. Tam, kde se jedná o co nejlepší stejnosměrné vlastnosti, pro menší vnitřní zdroje signálu, volíme MAA725. Velký vstupní odpor, větší rychlosti a šířky přenášeného pásma mají zesilovače řady MAC155, 156, 157. Tuzemský sortiment doplňují hybridní operační zesilovače řady WSH.

Základní znalosti a pochopení funkce obvodu jsou proto nutné pro správnou volbu součástí. Za správnou volbu považujeme takovou, která umožňuje dosáhnout požadovaných parametrů a spolehlivosti nejekonomičtějším způsobem, s uvážením dosažitelnosti a možností případných pozdějších oprav. Každý, kdo se chce elektronikou vážněji zabývat, se musí stále vzdělávat. Je třeba sledovat časopisy, mít alespoň základní katalogy, případně vhodnou knižní literaturu. Mnoho dalších informací o součástkách lze čerpat z příruček, např. Vachala, Křišťan: Příručka pro navrhování elektronických obvodů, apod.

2.7 Parazitní jevy

K úspěšné realizaci přístroje nestačí jen zapojení, hodnoty součástí, napětí a proudů. Je třeba znát možné parazitní jevy, jejich příčiny a následky a konstrukci přístroje od počátku navrhovat tak, aby byly potlačeny na co nejmenší míru. Tím omezíme dlouhé a časově náročné laborování na nesprávně pracujících vzorcích, případně nutnost větších úprav vzorků, než se dosáhne požadované funkce a parametrů.

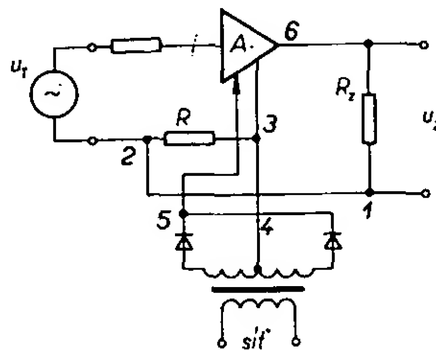
Odpor přívodů

Vazba signálových a napájecích obvodů

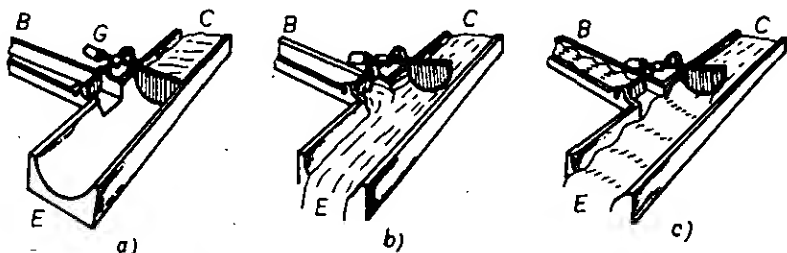
Odpor přívodních vodičů může způsobovat nežádoucí vazby. Ukažme si jednoduchý příklad vazby signálových a napájecích obvodů. Na obr. 112a působí jako vstupní signál zesilovače všechny zdroje a úbytky napětí ve smyčce *1, 2, 3, 4*. Připojíme-li filtrační elektrolytický kondenzátor do bodu *3* blízko vstupu zesilovače, pak střídavý nabíjecí proud kondenzátoru protéká přes odpor *R*, tvořený např. částí plošného spoje. Je-li např. vstupní napětí u_1 = 10 mV a rušení má být potlačeno alespoň na −60 dB, pak je na *R* přípustný úbytek napětí pouze 10 µV. Střídavý proud sběracím kondenzátorem *C* filtru může být běžně až řádu jednotek ampérů. Z toho pak vyplývá, že *R* musí být menší než 10 µΩ, což je nemožné. Jediným řešením je přepojit kondenzátor *C* do jiného bodu zemního vodiče. Ani připojením sběracího kondenzátoru na výstup (obr. 112b) se vliv rušení plně nepotlačí. Správné zapojení je na obr. 112c. Závěr je prostý: signálovými vodiči má procházet jen proud signálu, napájecí obvody mají mít pokud možno samostatné vodiče.

Vazba signálových obvodů na společném odporu

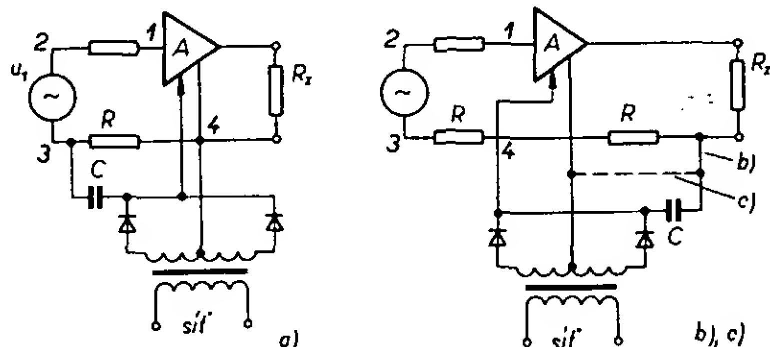
Vyskytne-li se v zapojení společná část zemního vodiče pro vstupní i výstupní obvod zesilovače, vznikne na jejím odporu zpětná vazba. Situaci ukazuje obr. 113. Výstupní proud zesilovače se ziskem *A* protéká smyčkou *1 – 2 – 3 – 6 – 1*. Na úseku *2–3*, společném pro vstupní i výstupní obvod, vzniká zpětná vazba.



Obr. 113. Uzavírá-li se vstupní i výstupní obvod zesilovače společnou částí vodiče o odporu R, vzniká na tomto odporu zpětná vazba



Obr. 111. Vždy je třeba mít určitou představu o vlastnostech a činnosti součástek a obvodů. Ta má být úměrná věku, vzdělání a zaměření pracovníka. Obrázek ukazuje příklad, jak firma Kosmotronik v NSR vysvětluje osmiletým dětem činnost tranzistoru. Hydrodynamická analogie umožní názorně ukázat zavřený tranzistor (a) bází neteče proud, klapka je uzavřena, mezi kolektorem a emitorem nemůže téci proud, i když je na tranzistoru napětí – výška hladiny vody) otevřený tranzistor (b) i zesilovací účinek tranzistoru (c). Taková jednoduchá představa postačí, aby děti vyzkoušely několik desítek jednoduchých pokusů a mohly získat zájem o hlubší poznání elektroniky



Obr. 112. Je-li část vodičů signálového obvodu na vstupu (a) nebo výstupu (b) společná s rozvodem napájení, může na společné části o odporu R pronikat rušení z napájecího do signálového obvodu. Správné je oddělit vedení napájecích a signálových obvodů (c)

Je-li zisk zesilovače kladný (zesilovač neotáčí fázi), pak zpětná vazba zmenšuje vstupní signál a tedy i zisk zesilovače. Pro zesilovač otáčející fázi zpětná vazba způsobuje zvětšení zisku. Přenosová funkce obvodu je dána vztahem

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{R_z A}{R_z + R(A+1)}$$

význam jednotlivých symbolů je patrný z obr. 113. V obvodu bez zpětné vazby, pro $R = 0$, je $u_2/u_1 = A$. Neprotéká-li zátěží proud (pro $R_z \to \infty$) je také $u_2/u_1 = A$. Je-li však například $A = 1000$ a nemá-li se vlivem zpětné vazby na R změnit o více než 1 %, pak pro R platí podmínka

$$R \leqq \frac{R_z}{100(A+1)}.$$

Předpokládáme-li typický odpor $R_z = 1000\ \Omega$, pak vychází

$$R \leqq \frac{1000}{100\,000} = 0{,}01\ \Omega.$$

Odpor R (pouhých 10 mΩ) změní tedy zisk zesilovače o 1 %. Vliv R se však neprojeví pouze na změně zesílení, ale změní se i výstupní impedance zesilovače. Předpokládáme-li, že v probíraném příkladě by byla výstupní impedance bez zpětné vazby nulová, vliv společného odporu $R = 1$ mΩ ji zvětší při kladném zisku zesilovače na

$$R_{výst} = (A+1)R = 10\ \Omega.$$

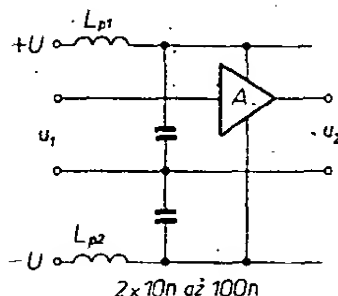
Obrací-li zesilovač fázi, stává se vlivem zpětné vazby výstupní odpor záporným. To znamená, že se připojením zátěže výstupní napětí zvětší. Z uvedeného plyne závěr: nesmíme dovolit, aby vstupní a výstupní proud zesilovače procházel společným vodičem.

Připojení zdrojů

Odpory přívodů k napájecím zdrojům u složitějšího systému (např. milivoltmetru nebo stereofonního zesilovače apod.) mohou být dalším zdrojem nežádoucích vazeb. Obtíže jsou způsobeny tím, že výstupní proud zesilovače musí vždy protékat smyčkou, uzavřenou přes napájecí zdroj. Proud vyvolává úbytky na odporech napájecího vedení, které jsou superponovány na napájecí napětí a mohou se přenášet do nežádoucích míst zapojení. Abychom se zbavili těchto obtíží, snažíme se zmenšit možnost výskytu nežádoucí vazby některým z následujících opatření:

a) citlivé vstupní stupně napájíme ze samostatných zdrojů nebo stabilizátorů;
b) každý zesilovač napájíme po samostatném vedení od napájecího zdroje,
c) každý zesilovač napájíme ze samostatného zdroje,
d) pro střídavé signály použijeme transformátorovou vazbu.

Volba vhodného opatření závisí na složitosti a citlivosti zařízení. Ve velkých a náročných přístrojích se nedá šetřit na napájecích zdrojích, jejich provedení a stabilizaci, má-li být plně využito dosažitelných vlastností. Stále více se používají zesilovače (včetně integrovaných obvodů), které jsou svým principem širokopásmové. Jejich vlastnosti jsou definovány při napájení ze zdrojů s malým vnitřním odporem. Běžné stabilizátory napětí mají pro kmitočty vyšší než 100 kHz výstupní impedanci indukčního charakteru, která se proti impedanci na nižších kmitočtech zvětšuje. Je to způsobeno zmenšením zisku v elektronické části stabilizátoru, který již nestačí udržet malý výstupní odpor zdroje, a indukčním charakterem reaktance elektrolytických kondenzátorů na vyšších kmitočtech. Také přívody od zdroje delší než 10 cm se mohou projevit u širokopásmových zesilovačů svým indukčním charakterem. Abychom se vyhnuli nekontrolovatelným vazbám na výstupní impedanci zdroje na vyšších kmitočtech, blokujeme zesilovače v jejich bezprostřední blízkosti kondenzátory. Obvykle vyhoví keramické kondenzátory 10 nF až 0,1 μF, obr. 114.

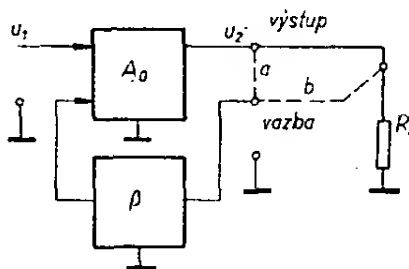


Obr. 114. Vliv indukční reaktance napájecích obvodů potlačujeme blokovacími keramickými kondenzátory 10 až 100 nF, umístěnými co nejblíže u zesilovače

Výstupní obvody

Často je na výstupní straně zařízení zpětnovazební zesilovač, obvykle s paralelní zpětnou vazbou. Podle připojení zpětné vazby mohou nastat dva základní případy:

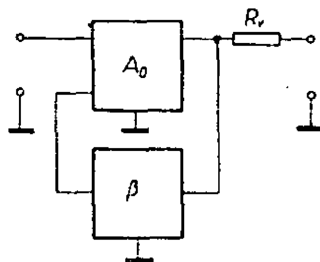
a) zpětná vazba je vedena z bodu, připojeného co nejblíže k zátěži, obr. 115.



Obr. 115. Máme-li definovat vlastnosti co nejblíže k zátěži, vedeme zpětnou vazbu z výstupních svorek (a) nebo přímo ze zátěže (b). (Používá se např. u zdrojů přesného napětí)

Vlastnosti výstupního signálu jsou definovány co nejblíže k zátěži, je potlačen vliv impedance přívodů,

b) zpětná vazba je vedena z vnitřního bodu zesilovače, zátěž je oddělena oddělovacím rezistorem R_v, obr. 116. Toto řešení se používá u koncových stupňů generátorů k dosažení definovaného výstupního odporu na výstupních svorkách. R_v obvykle slouží také jako ochrana zesilovače.

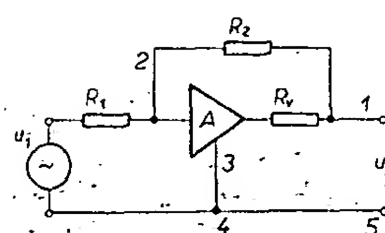


Obr. 116. V některých případech, např. u generátorů, vedeme zpětnou vazbu z vnitřního bodu zapojení a oddělovací odpor definuje výstupní odpor a chrání obvod před zkratem nebo připojením nevhodného napětí k výstupu

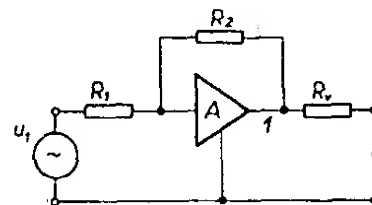
Oba případy pro napěťovou zpětnou vazbu jsou na obr. 117 a 118. Výstupní odpor R_0 je dán vztahem (pro obr. 117)

$$R_0 \doteq \frac{R_v}{-A}\left(\frac{R_2}{R_1}\right).$$

Např. pro $R_v = 10\ \Omega$, $A = -10^{-5}$ a $R_2/R_1 = 10$, je $R_o = 1$ mΩ pro zpětnou vazbu vztaženou až na výstupní svorky, obr. 117.



Obr. 117. Při zpětné vazbě vedené z výstupů musí být plocha smyčky 1-2-3-4-5 co nejmenší, aby se do ní nemohlo indukovat nežádoucí rušení



Obr. 118. Leží-li odpor R_v mimo smyčku zpětné vazby, určuje výstupní odpor celého zapojení

I v tomto případě je maximální velikost výstupního proudu omezena velikostí napájecího napětí a odporu R_v. Je-li R_v mimo smyčku zpětné vazby, pak určuje převážnou část výstupního odporu celého obvodu. Proto, chceme-li definovat výstupní signál zesilovače nebo např. výstupní napětí stabilizátoru v určitém bodě, vedeme zpětnou vazbu z tohoto bodu. Má-li být zachován výstupní signál s velkým odstupem rušivých napětí, musí být plocha smyčky *1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1*, obr. 117, malá, aby nevznikla vazba rušivým magnetickým polem z vnějších i vnitřních zdrojů rušení. Každá změna magnetického pole, procházející smyčkou, je zesilovačem zpracovávána jako vstupní signál. Proto se má vést zpětnovazební vodič *1-2* přes R_2 blízko, nejlépe koaxiálně (souose) s vodičem *4-5*.

Vstupní obvody

Dávno již minula doba, kdy se používaly v nízkofrekvenčních zařízeních germaniové tranzistory s tak nízkým mezním kmitočtem, že nehrozilo větší nebezpečí rušení vlivem parazitních vysokofrekvenčních signálů. Moderní (i nízkofrekvenční) křemíkové tranzistory, ať již v diskrétní formě nebo jako součást integrovaného obvodu, mají mezní kmitočty řádu desítek až stovek MHz. Nelze proto zanedbávat možný vliv rušení signály z oblasti mimo zpracovávané pásmo kmitočtů.

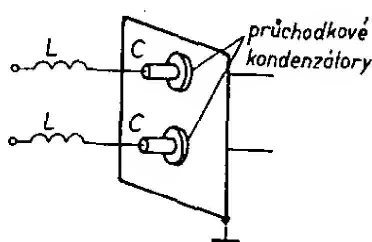
Přichází-li na vstup kromě žádaného signálu i signál rušivý, obvykle se to projeví zhoršením vlastností obvodu. Nežádoucí vysokofrekvenční signál větší amplitudy je usměrňován nelinearitou vstupního obvodu. Usměrnění může mít za následek posuv pracovních bodů, zmenšení zisku zesilovače, posuv výstupní ss úrovně, zkreslení užitečného signálu a zhoršení odstupu užitečného signálu od rušivého pozadí.

Vstupní obvody citlivějších zařízení obvykle pečlivě stíníme (viz další článek, 2.8). Praktické a často užívané jsou filtry *RC* na vstupu citlivých obvodů. Skládají se z rezistoru, zařazeného v sérii se vstupem a všech kapacit proti zemi (včetně parazitních), uplatňujících se za tímto rezistorem. Geometrie celého vstupního obvodu, včetně obvodu zpětné vazby, musí být taková, aby smyčka, do které by se mohlo indukovat nežádoucí rušení,

měla co nejmenší plochu. Tomu nejlépe vyhovuje koaxiální (souosé) uspořádání. Na nižších kmitočtech lze mnoho obtíží odstranit užitím symetrického vedení signálu a diferenciálních zesilovačů.

Máme-li odstranit vf nežádoucí rušení z nf nebo ss vstupních přívodů, nestačí přívody spojit mezi sebou nebo se zemí kondenzátorem, představujícím pro vysoké kmitočty malou impedanci. Na vstupní vedení musíme pohlížet jako na vf vedení, v němž se energie šíří elektromagnetickým polem okolo vodičů. Jakákoli nehomogenita vedení, např. zmíněným zablokováním vodičů, způsobí odrazy vf energie a její šíření v různých formách po celém obvodu. Nežádoucí vf energie proniká do přístroje nejen ze strany vstupů, ale pozornost je nutno věnovat i síťovému rozvodu. Na obr. 119 je filtr zamezující pronikání nf rušení do přístroje. Charakteristická impedance napájecích a vstupních vedení bývá 50 až 1000 Ω. Pro 1 MHz pak součástkám na obr. 119 odpovídá L = 10 μH a C = 1 nF.

K blokování se používají průchodkové kondenzátory, upevněné v kovové stínicí stěně. Tato stěna se nemá používat současně k zamezení šíření vf signálů



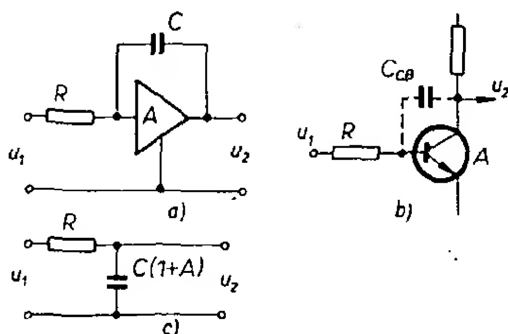
Obr. 119. Pronikání vf rušení bráníme filtrem z tlumivek a průchodkových kondenzátorů, umístěných v kovové stínicí stěně

a k elektrostatickému stínění signálu. Správné je použít dva paralelní stínicí systémy, první proti vf rušení a druhý pro signálové stínění. Vf stínění může být uzemněno v několika bodech, kdežto signálové stínění pouze v jednom bodě (viz dále).

Parazitní reaktance

Kapacity

V každém reálném zapojení se setkáme s řadou parazitních kapacit. Mohou to být kapacity uvnitř použitých součástek (např. kapacita kolektor – báze tranzistoru) nebo kapacity mezi libovolnými body zapojení. Vliv parazitních kapacit se uplatňuje od tím nižších kmitočtů, čím větší jsou impedance a zisky stupňů ve sledovaném obvodu. Otázkou potlačování parazitních kapacitních vazeb se budeme podrobně zabývat v článku 2.8. Obr. 120



Obr. 120. Kapacita mezi výstupem a vstupem invertujícího zesilovače (a, b) se uplatňuje velmi značně (Millerův jev). Můžeme ji nahradit (1 + A) krát větší kapacitou mezi vstupem a zemí (c)

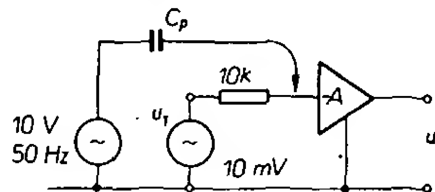
ukazuje příklad zesilovače se ziskem *A* a parazitní vazbou z některého bodu blízko výstupu do vstupu. Pro přenos včetně parazitní zpětné vazby platí

$$u_2/u_1 = A/1+pC_pRA,$$

kde *p* je komplexní proměnná.

Původní časová konstanta RC_p se tedy zvětšila *A* krát. Např. byla-li časová konstanta RC_p = 0,1 ms a *A* = 1000, má zesilovač novou časovou konstantu 0,1 s. S tímto nepříznivým vlivem zpětnovazební kapacity se setkáme u všech aktivních prvků, které mají charakter dvojbranu. Obvykle jej známe pod názvem „Millerův jev". Snaha zmenšit tuto nežádoucí kapacitu vedla k vývoji nových aktivních prvků (např. pentody místo triody), tranzistorů řízených polem se dvěma elektrodami G, speciálních typů bipolárních tranzistorů se zmenšenou kapacitou kolektor – báze (jako např. KF167 a KF173 aj.) nebo zapojení, v nichž je vliv nežádoucí kapacity potlačen (např. kaskádové zapojení stupně s uzemněným emitorem a s uzemněnou bází). Možností, jak zmenšit vnější parazitní zpětnovazební kapacity (za cenu zvětšení méně nebezpečných kapacit proti zemi), je použít stínění (viz dále).

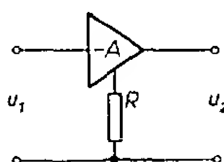
Jak malé parazitní kapacity již mohou zhoršit vlastnosti zesilovače ukažme na příkladě (obr. 121). Uvažujme vstupní obvod zesilovače, který má zpracovat vstupní signál 10 mV s odstupem alespoň −60 dB. Odpor zdroje signálu uvažujme např. 10 kΩ. Odstupu −60 dB od 10 mV odpovídá největší přípustný rušivý signál 10 μV. Zkusme zjistit, jaká může být největší kapacita mezi napájecími obvody, v nichž je napětí 10 V/50 Hz, aby byl dodržen odstup −60 dB. To znamená, že 10 V z napájecího zdroje může vyvolat na 10 kΩ vnitřního odporu zdroje úbytek napětí nejvýše 10 μV. Úbytku 10 μV na 10 kΩ odpovídá proud 1 nA. Reaktance kapacity, kterou protéká při kmitočtu 50 Hz proud 1 nA, musí být 10^{10} Ω. Z toho vyplývá, že kapacita $C = 1/\omega X_C$ může být až 0,3 pF. Vidíme, že přípustná kapacita je velmi malá i u zesilovače s běžnými středními impedancemi. Proto se většinou v náročnějších vstupních obvodech neobejdeme bez speciálních opatření, popsaných dále.



Obr. 121. I velmi malá kapacita může vnést do obvodu nepřípustně velké rušení

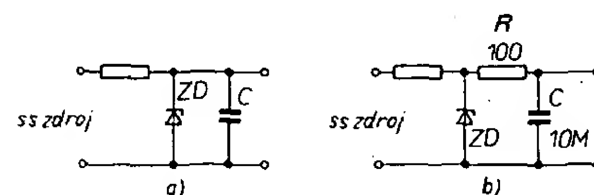
Parazitní indukčnosti

Na obr. 122 je příklad zesilovače s proudovou zpětnou vazbou na rezistoru R = 10,0 Ω. Požadujeme-li, aby kmitočtová charakteristika zesilovače byla rovná v mezích ±1 % do kmitočtu 10 kHz, musí mít stejnou toleranci i odpor rezistoru 10 Ω. Připustíme-li zvětšení odporu *R* na horní povolenou mez 10,1 Ω na 10 kHz vlivem indukčnosti, vychází tomu odpovídající indukčnost pouhé 4 μH. Z příkladu je vidět, že ani ve zdánlivě zcela nízkofrekvenčních obvodech nelze vliv parazitních reaktancí podceňovat. V probíraném případě to znamená neužívat drátové rezistory a volit krátké spoje.



Obr. 122. Na odporu, společném vstupním i výstupním obvodu, vzniká proudová zpětná vazba

Jak jsme se zmínili již v článku 2.6, mají kondenzátory obvykle do určitého kmitočtu, závislého na typu a kapacitě kondenzátoru a délkách vývodů, reaktanci indukčního charakteru (pomineme-li speciální bezvývodové provedení, např. čipy vsazované přímo do obvodu). Často jsou používány kondenzátory pro filtraci brumu a šumu, např. v napájecích obvodech. Užití blokovacích kondenzátorů v obvodech s malými impedancemi však přináší obtíže. Podívejme se na obr. 123a. Předpokládejme, že Zenerova dioda ZD má v pracovním bodě dynamický vnitřní odpor 1 Ω, a že je třeba potlačit šum diody na kmitočtu 10 kHz. Použijeme-li k tomu blokovací kondenzátor *C* paralelně k diodě, musí být jeho reaktance alespoň o řád menší než dynamický vnitřní odpor diody, to je maximálně 0,1 Ω. Takové reaktanci odpovídá kapacita 160 μF. Tak velkou kapacitu mají pouze elektrolytické kondenzátory. Elektrolytické kondenzátory nemají však vlivem R_S a L_S impedanci menší než několik desetin ohmu a volba elektrolytického kondenzátoru jakkoli velké kapacity nepřinese zlepšení. Na vyšším kmitočtu, např. 1 MHz, vyjde kapacita *C* menší, v tomto případě 1,6 μF. Na těchto kmitočtech má obvykle impedance kondenzátorů tak velkých kapacit indukční charakter. Cívka, mající na 1 MHz odpor 0,1 Ω, má však indukčnost pouze 0,016 μH.



Obr. 123. Kondenzátor C paralelně k malému dynamickému odporu diody se neuplatní, užitím RC filtru podle b) se filtrační účinky zvětší a je možné použít kondenzátor s menší kapacitou

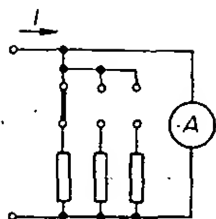
Z příkladu je zřejmé, že zavést účinnou filtraci v obvodech s velmi malou impedancí je velmi obtížné nebo nemožné. Většinou je však možné výstupní impedanci filtrovaného zdroje uměle zvětšit (obr. 123b). Stabilizační účinek proti kolísání napětí vstupního zdroje zůstal zachován, filtrační účinek se podstatně zvětšil vlivem *R* a umožnil použít kondenzátor přiměřené kapacity.

Termoelektrické napětí

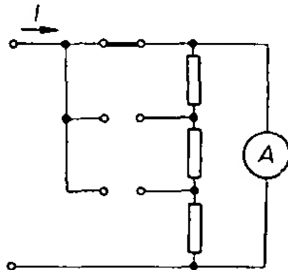
Při měření velmi malých stejnosměrných napětí se mohou rušivě projevit termoelektrická napětí. Vznikají na místě styku dvou různých kovů vlivem teploty. Teplotní rozdíl může být způsoben ohřevem ztrátovým výkonem použitých součástek, ale také např. třením v přepínači při přepínání. Termoelektrická napětí vztahujeme proti mědi a jsou přibližně −0,5 μV/°C pro zlato, stříbro, manganin, −2,5 μV/°C pro mosaz a fosforbronz, −3,2 μV/°C pro cín, ale např. −41,5 μV/°C pro konstantan. Vliv termoelektrického napětí potlačujeme použitím vhodných materiálů a zamezením teplotních rozdílů v citlivé části obvodu.

Přechodové odpory

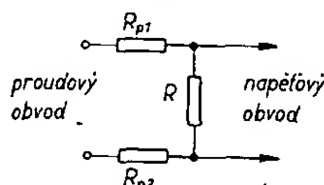
S přechodovými odpory a jejich vlivem se nejvíce setkáváme u rozpojitelných spojů, nejčastěji u přepínačů. Bývá od



Obr. 124. Nesprávné zapojení bočníku k měřidlu, přechodový odpor přepínače pro proudy větší než 1 A způsobí nepřípustnou chybu měření



Obr. 125. Bočník typu Ayrton – Perry odstraňuje vliv přechodového odporu přepínače na přesnost měření a měřidlo při přepínání není vystaveno proudovým rázům



Obr. 126. Malé odpory se snažíme připojovat čtyřsvorkově tak, aby odpor přívodů R_p byl mimo napěťový obvod, v němž měříme úbytek napětí na R

setin mΩ u kolíčkových přepínačů po jednotky až desítky mΩ u běžných přepínačů. Větší a nestabilní přechodový odpor přepínače může podstatně zhoršit vlastnosti ampérmetru pro rozsahy od jednotek ampérů, je-li zapojen přechodový odpor přepínače tak, že se plně uplatňuje v měřicím obvodu (obr. 124). Zapojením bočníku typu Ayrton-Perry (obr. 125) se vliv přechodového odporu při měření neuplatní. Tam, kde je to možné, používáme čtyřsvorkové připojení (obr. 126). Parazitní odpory R_{p1} a R_{p2} připojení jsou v tomto případě ve vstupním proudovém okruhu, úbytek napětí snímáme v napěťovém obvodu, kterým má protékat pouze zanedbatelný proud.

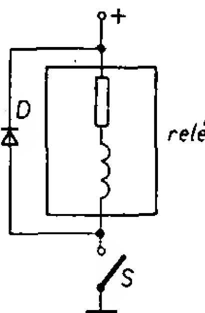
Impulsní rušení

Při zapínání a vypínání relé, tyristorů obvodů TTL apod. vznikají napěťové skoky s velmi strmou změnou výstupního napětí. Takový skok má velmi velký obsah harmonických kmitočtů a může rušit měřicí přístroje a přijímače až na vysokých kmitočtech. Periodický sled impulsů je pak reprodukován přijímačem podle šířky pásma přijímače a opakovacího kmitočtu impulsů jako amplitudově i kmitočtově modulovaný signál. Proti nežádoucím jevům tohoto druhu musíme bojovat co nejvíce v místě jejich vzniku (blokováním, stíněním, filtry) a zabránit jejich nekontrolovanému šíření.

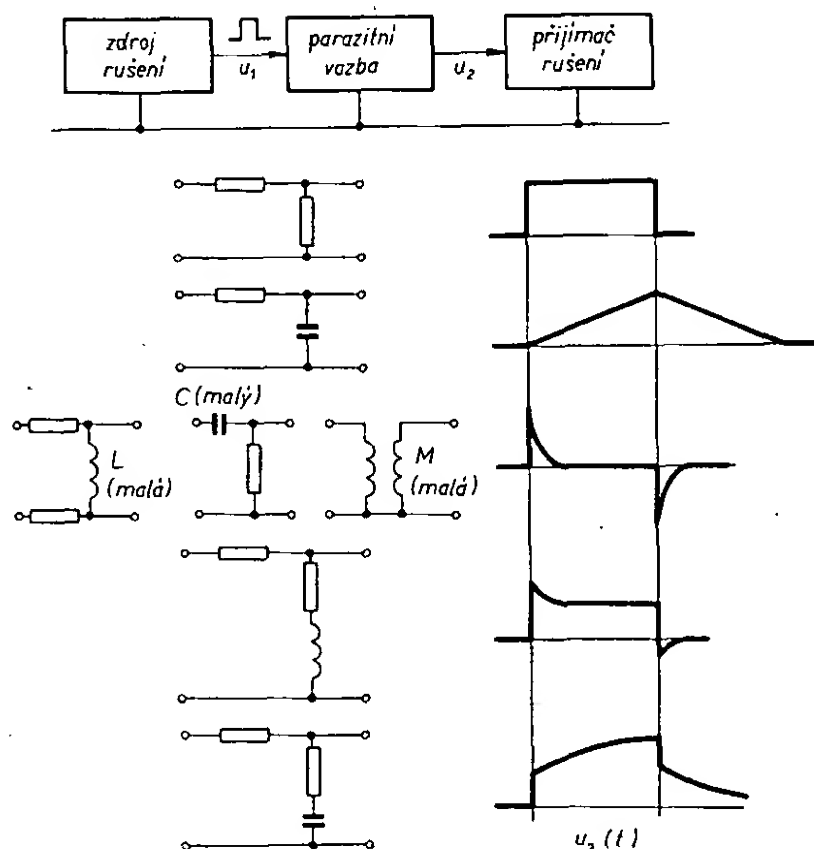
Prochází-li signál pravoúhlého průběhu parazitní vazbou na přijímač rušení, můžeme podle tvaru impulsu v přijímači usuzovat na to, o jaký charakter vazby mohlo jít. Příklady zkreslení pravoúhlého impulsu různými vazebními členy jsou na obr. 127.

Vypínání „indukčnosti"

Relé a ostatní zařízení s elektromagnety mají impedanci indukčního charakteru. Při vypnutí proudu bez ochranných obvodů by na těchto součástech vznikla velká přepětí. Obvykle je neodstraní ani stabilizátor napájecího napětí, protože většina stabilizátorů je příliš pomalá a nestačí včas tyto rázy omezit. Přepěťové rázy je třeba potlačit přímo na místě vzniku připojením paralelního členu k cívce relé. K tomuto účelu se dají použít diody, rezistory, nelineární rezistory, Zenerovy diody, kondenzátory a jejich kombinace. Pro běžné použití je nejvhodnější dioda (obr. 128), která je zapojena vzhledem k napájecímu napětí v závěrném směru. Po odpojení obvodu od zdroje se indukčnost snaží zachovat původní velikost a směr proudu přes diodu, která je v tomto okamžiku zapojena v propustném směru a vede. Tím je zamezeno vzniku přepětí, ale zpožďuje se odpad kotvy vlivem procházejícího proudu. Dobu odpadu lze zkrátit rezistorem v sérii s diodou. Podrobnější rozbor je např. v knize F. Tornau: Elektrické rušivé vlivy v zařízeních pro automatizaci a zpracování dat, SNTL: Praha 1978.



Obr. 128. Na relé by při vypnutí spínače S, tvořeného např. spínacím tranzistorem, vznikl velký impuls napětí. Ten omezujeme členem paralelně k vinutí relé. V běžných případech vyhoví jako paralelní člen dioda

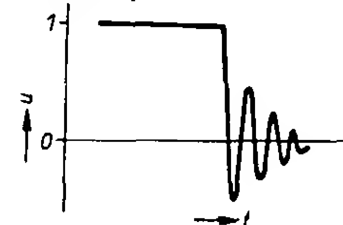


Obr. 127. Pravoúhlý impuls je po průchodu parazitní vazbou tvarově zkreslen různě, v závislosti na typu vazebního obvodu. Obrázek ukazuje zkreslení základními typy parazitní zpětné vazby

Odrazy

O odrazech signálu jsme zvyklí uvažovat při přenosu vedením na vysokých kmitočtech. Nebezpečné však mohou být odrazy signálu i při práci s logickými obvody. Zvlášť kritické jsou odrazy, které vznikají u obvodů TTL při přechodu signálu z logické úrovně H na L. Tyto přechody jsou u obvodů TTL velmi strmé, někdy až řádu V/ns. Na tak strmý signál musíme pohlížet jako na signál s velmi širokým spektrem. Jsou-li přenášeny impulsy po vedeních delších než asi 25 cm, mohou se několikanásobně odrážet a působit jako parazitní signál nebo alespoň zmenšovat šumovou imunitu použitých obvodů.

Je-li čas, potřebný k tomu, aby se signál po odrazu vrátil na začátek vedení a dospěl znovu na konec vedení delší, než doba překlápění obvodu zařazeného na konci vedení, překlápí se obvod (podle postupného útlumu odraženého signálu) několikrát v rytmu odrazů. Na průběh odrazů na konci vedení může být také superponován tlumený kmitavý průběh na rezonančním kmitočtu vedení (obr. 129), který může překrývat děj způsobený odrazy. Vzniká vybuzením rezonančního



Obr. 129. Vypneme-li signál pravoúhlého průběhu na rezonančním obvodu nebo na konci vedení, objeví se ve výstupu tlumené harmonické kmity na kmitočtu, daném parametry obvodu

obvodu z indukčnosti a kapacity vedení složkou příslušného kmitočtu ze spojitého spektra skokové změny napětí. Tyto zákmity mohou vyvolat chybnou funkci logického obvodu stejně jako odrazy. Omezit jejich vliv zapojením přídavného kondenzátoru na konec vedení nelze, protože připojením kondenzátoru pouze snížíme rezonanční kmitočet a tím bychom logickým členům sledování jednotlivých zákmitů právě usnadnili. Vhodným opatřením je používat co nejkratší vedení, případně pasívní zatlumení přídavnými rezistory.

Při překlopení logického hradla TTL vzniká proudový impuls v napájecím obvodu, protože krátký okamžik jsou oba výstupní tranzistory v aktivním stavu. Aby se proudový impuls nemohl nežádoucím způsobem šířit jako porucha po napájecích vodičích, je třeba používat co nejkvalitnější zemní vodič (např. jedna strana dvojstranné desky s plošnými spoji), tlusté propojovací vodiče, pásky plechu a každé jedno nebo dvě pouzdra IO blokovat kondenzátorem s co nejmenší vlastní indukčností.

Orientační údaje parazitních vlastností vodičů

Pro správný odhad vlivu parazitních veličin je třeba umět odhadnout řádové

velikosti jednotlivých parazitních složek. V knize Volin: Parazitní vazby a přenosy, SNTL: *Praha 1970* jsou uvedeny tyto orientační údaje pro měděné vodiče:

Průměr vodiče [mm]	0,1	0,5	1
Údaj na 100 mm délky			
odpor [mΩ]	220	8,9	2,3
indukčnost [μH]	0,15	0,12	0,1
kapacita [pF] proti kovové			
rovině při vzdálenosti 1 mm	1,5	2,7	4,0
10 mm	0,9	1,4	1,6
kapacita [pF] dvou rovnoběžných			
vodičů vzdálených 2 mm	0,75	1,4	2,0
10 mm	0,5	0,75	0,9
vzájemná indukčnost [μH] dvou			
rovnoběžných vodičů vzdálených			
2 mm	0,03	0,07	0,17
10 mm	0,015	0,04	0,11

2.8 Stínění

Jednou ze základních metod, jak potlačit rušivé signály, je stínění. Ke stínění můžeme mít dva základní přístupy:

a) Stíníme zdroj rušení. Snažíme se omezit a uzavřít prostor, ve kterém rušení působí a nedovolit jeho šíření mimo uzavřenou oblast. Napájecí a signální vodiče vedeme přes odrušovací filtry, které mají zamezit průniku nežádoucího signálu ze stíněné oblasti. Takto stíníme a odrušujeme různé motory, tyristorové usměrňovače, regulátory apod.

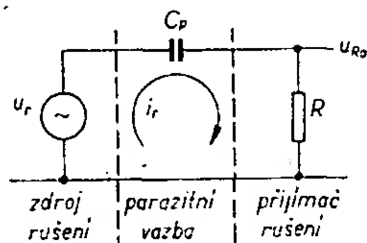
b) Stíněním chráníme citlivé, zejména vstupní části zařízení. Stínění má zamezit, aby se na obvod nedostal jiný signál, než požadovaný.

Nežádoucí signál může pronikat kapacitní nebo indukční vazbou. Podle způsobu jeho pronikání dělíme stínění na elektrostatické (proti kapacitní vazbě) a na magnetické (proti vazbě indukční). Vazbě odporové bráníme správným vedením vodičů, viz článek 2.7.

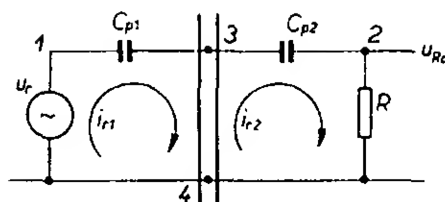
Každý individuální případ musí být analyzován pečlivě a samostatně. V první řadě je nutno najít zdroje a přijímače rušení a možný způsob parazitní vazby. Nedokonalé a nesprávně provedené stínění, založené na nesprávném pochopení problému, může situaci zhoršit a vyvolat nové problémy.

Elektrostatické stínění

Elektrostatické stínění používáme pro odstranění vlivu nežádoucích kapacit. Na obr. 130 je u_r napětí zdroje rušení (spínací tranzistor, hradlo TTL apod.), C_p je nežádoucí parazitní kapacita, R je vstupní odpor přijímače rušení, kterým může být např. vstupní obvod zesilovače apod. Obvodem protéká proud $i_r = u_r/(R + jX_p)$, který vyvolává na vstupním odporu R úbytek napětí $u_{ro} = u_r/(1 + jX_p)$, kde X_p je reaktance kondenzátoru C_p. Zapojíme-li podle obr. 131 mezi body *1* a *2* nekonečně velkou dokonale vodivou desku *3–4* spojenou v bodě *4* se společným potenciá-



Obr. 130. Náhradní obvod pro parazitní zpětnou vazbu



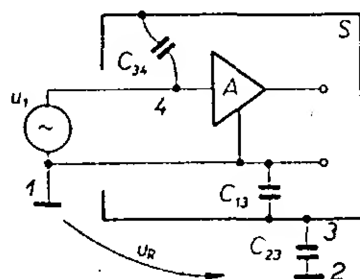
Obr. 131. Náhradní obvod se znázorněním vlivu elektrostatického stínění na parazitní zpětnou vazbu

lem, rozdělí se C_p na C_{p1} a C_{p2}. Smyčkou *1–3–4* sice poteče proud přes kapacitu C_{p1}, ale vzhledem k dokonalé vodivosti desky *3–4* není ve smyčce *3–2–4* žádný zdroj napětí a tedy na odporu R není žádný rušivý signál od zdroje U_p. Aby bylo stínění účinné, je třeba dodržovat několik zásad:

1. Všechny vodiče přenášející signál mají být uvnitř stíněného prostoru.

2. Stínění musí být připojeno ke společné svorce zapojení. Je-li signál spojen jednou svorkou se zemí, musí být i stínění spojeno se zemí.

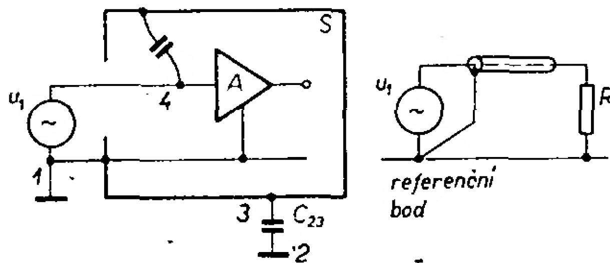
Na obr. 132 je neuzemněné stínění S. Externí zdroj u_1 je uzemněn v bodě *1*,



Obr. 132. Neuzemněné (plovoucí) stínění má omezený stínicí účinek

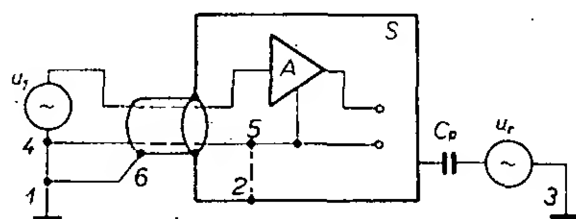
stínění má proti nejbližší zemi kapacitu C_{23}. Jsou-li body *1* a *2* od sebe vzdáleny, může se mezi nimi projevit rušivé napětí u_r. Toto napětí se na stínění projeví dělené v závislosti na poměru kapacit C_{13} a C_{23}. Stínění S toto napětí přenáší přes kapacitu C_{34} do vstupu obvodu. Stínění je málo účinné. Zkratujeme-li C_{13} spojením bodů *1* a *3*, odstraníme průnik rušení přes kapacity C_{13} a C_{34}.

3. Stínění má být připojeno k referenčnímu potenciálu na straně zdroje signálu, viz obr. 133.



Obr. 133. Každé stínění má být uzemněno v jednom referenčním bodě; a) připojení stínicí krabičky na společný referenční potenciál v bodě 1 se zdrojem signálu u_1, b) správné připojení stínění souosého kabelu

4. Stínicí vodič nemá být používán současně jako vodič signálový. Správné propojení je na obr. 134. Společný vodič signálového obvodu je *4–5*. Stínění S je spojeno souosým kabelem přes *2–6–1*

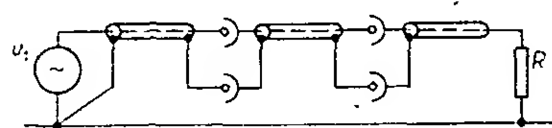


Obr. 134. Správné stínění. Spojíme-li signálový společný vodič se stíněním v několika bodech (např. přidáním spojky 2–5), vlastnosti stínění se zhorší.

s referenčním bodem *1* zapojení na vstupu.

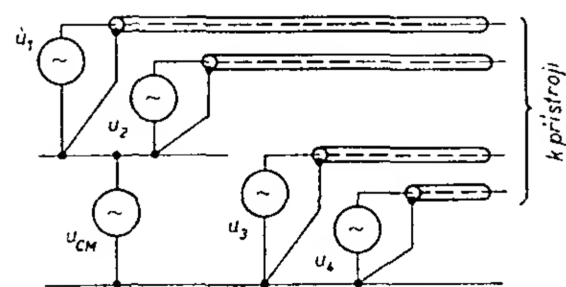
Proud ze zdroje rušení u_r prochází obvodem *3–2–6–1–3* a nemůže na společném vodiči *4–5* signálového obvodu vyvolat žádný úbytek napětí. Kdyby však nebyly dodrženy zásady stínění (např. při spojení *2* a *5*), pak by proud ze zdroje rušení procházel i signálovým vodičem *4–5* a vyvolal by na něm nežádoucí úbytek rušivého napětí.

5. Skládá-li se stínění z několika po sobě následujících částí, musí být jednotlivá stínění propojena za sebou a spojena se společnou svorkou pouze v jednom bodě (obr. 135).



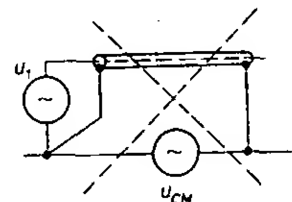
Obr. 135. Skládá-li se stínění z několika úseků, mají být jednotlivé úseky propojeny za sebou

6. Přicházejí-li na vstup zařízení signály z několika nezávislých zdrojů, je třeba pro každý z nich použít nezávislé stínění, připojené na referenční potenciál příslušného zdroje obr. 136, i když mezi společnými svorkami jednotlivých zdrojů může být rozdíl potenciálů U_{CM}.



Obr. 136. Má-li zařízení několik vstupních signálů, má být každé stínění připojeno na referenční potenciál příslušného zdroje

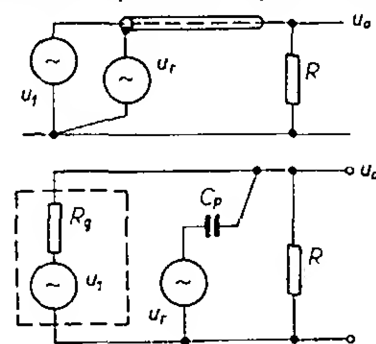
7. Stínění má být spojeno s referenčním potenciálem jen v jednom bodě (obr. 134 a 137).



Obr. 137. Stínění nesmí být spojeno se zemí v několika bodech. Nestejností referenčních potenciálů by vznikl stíněním proud, který by přenesl rušení do stíněného obvodu.

8. Stíněním nemá protékat proud. Mohl by indukovat napětí ve vodičích stíněného prostoru.

9. Na stínění nemá být napětí proti referenční úrovni. Vázalo by se kapacitně do stíněného prostoru (obr. 138).



Obr. 138. Vyskytne-li se na stínění napětí, působí přes kapacity do stíněného prostoru

(Dokončení v AR B1/85)